

Pra Desain Pabrik Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Limbah Sludge Industri Penyamakan Kulit Di Magetan dengan Proses Karbonasi

Belinda Alifiya Pambudi, Naufal Ramadhani, Siti Nurkhamidah dan Yeni Rahmawati
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: dst_eureka@yahoo.co.uk

Abstrak—Pabrik precipitated calcium carbonate (PCC) dilakukan melalui proses karbonasi. Pabrik PCC ini direncanakan untuk berjalan dengan kapasitas 42 ton/tahun sepanjang 330 hari per tahun. Pabrik ini diharapkan akan menghasilkan PCC untuk memenuhi kebutuhan PCC pada industri kertas. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan pabrik PCC adalah sludge kering dari industri penyamakan kulit. Pabrik ini direncanakan akan dibangun berdampingan dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Lingkungan Industri Kulit (LIK) Magetan, hal tersebut dengan beberapa pertimbangan salah satunya terdapat pertimbangan aspek bahan baku. Pembuatan PCC dengan proses karbonasi dilakukan pada suhu 30°C dan pada tekanan 2 bar menggunakan reaktor bubble column dengan tingkat konversi sebesar 75%. Dari studi evaluasi ekonomi pabrik ini, disimpulkan bahwa didapatkan penaksiran modal (CAPEX) sebesar Rp14.090.400.000; biaya operasional (OPEX) sebesar Rp6.262.400. Berdasarkan analisa ekonomi terhadap pabrik ini menunjukkan laju pengembalian modal (IRR) didapatkan sebesar -5,9% dengan bunga pinjaman 8,06% per tahun dan WWAC 11,1%. Waktu pengembalian modal (POT) tidak ditemukan karena cumulative free cash flow selalu negatif sepanjang umur pabrik. NPV yang didapatkan juga bernilai negatif. Jadi dapat disimpulkan dari data analisa kelayakan di atas bahwa pabrik ini tidak layak untuk didirikan.

Kata Kunci—PCC, Sludge Kering, Penyamakan Kulit, Karbonasi.

I. PENDAHULUAN

SEKTOR industri kulit telah menjadi sektor penunjang perekonomian di Kabupaten Magetan dimana terdapat 78 unit pengusaha penyamakan kulit. Industri penyamakan kulit merupakan industri yang mengolah kulit mentah menjadi kulit jadi dengan proses pengolahan dengan kapasitas air yang besar. Proses penyamakan kulit menggunakan berbagai bahan kimia sehingga menghasilkan limbah cair dan limbah padat. Unit Pelaksana Teknis (UPT) industri dan produksi kulit di Magetan memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan kapasitas 600 m³/hari di daerah Lingkungan Industri Kulit (LIK). Limbah cair yang dihasilkan dari proses penyamakan kulit banyak mengandung polutan organik dari bahan baku dan polutan kimia dari bahan penunjang proses. Selain itu, dihasilkan limbah padat dari hasil pembersihan daging, bulu, dan lemak. Limbah padat atau yang biasa disebut sludge kering mengandung banyak kapur, garam, dan bahan kimia penunjang lain.

Kandungan kapur atau CaO cukup tinggi pada limbah padat yang dihasilkan oleh penyamakan kulit. Namun, pemanfaatan atau daur ulang limbah masih belum berjalan maksimal. Pembuatan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) menjadi salah satu solusi dalam mengurangi penimbunan

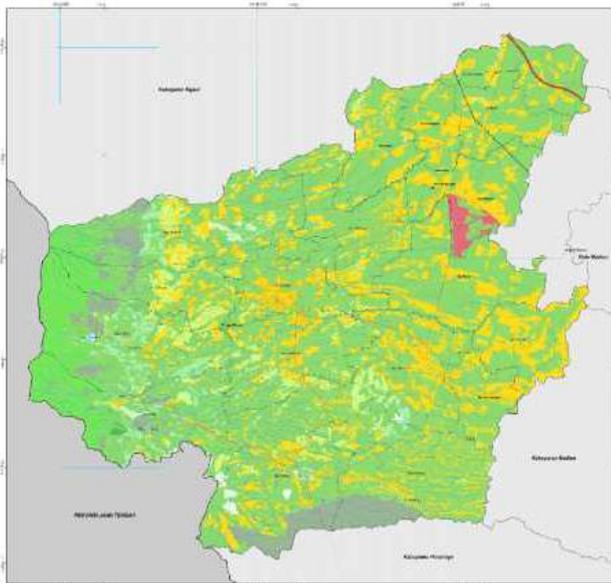
limbah serta menjadikan limbah memiliki nilai ekonomis. Precipitated Calcium Carbonate (PCC) merupakan kalsium karbonat dengan kemurnian yang tinggi yang dihasilkan melalui proses presipitasi [1].

Setiap industri memerlukan spesifik karakteristik produk PCC dalam hal kemurnian, distribusi ukuran partikel, bentuk dan luas permukaan, dan lain-lain. PCC banyak digunakan sebagai filler atau bahan baku pada industri kertas, cat, plastik, perekat, makanan, keramik, tekstil, kosmetik, obat-obatan, dan berbagai industri lainnya. Tujuan ditambahkan filler pada kertas adalah untuk meningkatkan opasitas kertas dan daya cetak dalam penggunaan tinta serta mengurangi biaya bahan baku. Untuk rincian lengkapnya adalah sebagai berikut [2]:

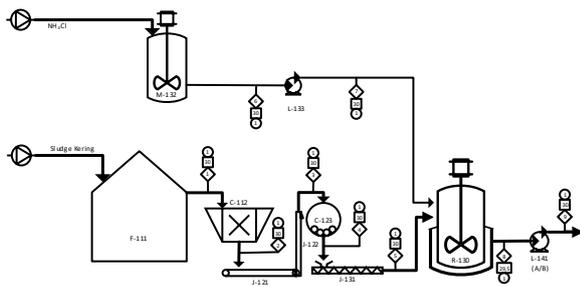
1. Pada industri kertas sebagai filler dan coating (72%)
2. Pada industri cat dan pelapisan, digunakan sebagai filler/extender (8%)
3. Pada industri plastik sebagai filler untuk meningkatkan kualitas fisik seperti modulus, resistansi terhadap panas, dan kekerasan (5%)
4. Pada industri karet (5%)
5. Pada industri makanan, kosmetik dan farmasi, antara lain digunakan sebagai antasid, suplemen Ca pada makanan, abrasive mild pada pasta gigi (4%)
6. Pada industri tekstil (3%)
7. Pada industri dempul (3%)

Berdasarkan data riset dari PT Capricorn Indonesia Consultant pada tahun 2022 menyatakan kebutuhan PCC nasional sekitar 512 ribu Ton. Namun, di Indonesia hanya memproduksi sekitar 419 ribu Ton PCC per tahunnya. Hal ini menyebabkan Indonesia perlu mengeksport PCC sekitar 87 ribu Ton untuk memenuhi kebutuhan PCC di Indonesia. Peluang untuk mengembangkan pabrik PCC di Indonesia cukup besar, melihat ketersediaan bahan baku serta tingginya tingkat kebutuhan bagi industri. Indonesia sebagai salah satu pengimpor PCC terbesar tentunya momentum ini dapat dijadikan sebuah solusi dalam mengurangi tingkat impor PCC namun tetap dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri, bahkan mampu ekspor ke negara lain.

Pemilihan lokasi pendirian pabrik berdasarkan dari lokasi ketersediaan bahan baku dan lokasi dari pabrik industri kertas konsumen produk PCC, yang mana bahan baku pabrik PCC ini berlokasi di kabupaten Magetan, Jawa Timur. Sedangkan lokasi dari pabrik industri kertas konsumen produk PCC berlokasi di Mojokerto yaitu PT Pabrik Kertas Tjiwi Kimia Tbk. Selain pertimbangan tersebut juga terdapat pertimbangan lain yaitu disisi aspek ketersediaan lahan dan bahan baku, terdapat ketersediaan lahan kosong yang luas di Kabupaten Magetan, yaitu seluas 28.269 hektar. Sehingga



Gambar 1. Peta dari wilayah kabupaten Magetan.



Gambar 2. Tahap pre-treatment.

peluang terpenuhinya kebutuhan lahan terpenuhi. Selain itu, di kabupaten Magetan dapat memenuhi kebutuhan bahan baku dimana terdapat 78 industri penyamakan kulit, sehingga terdapat sumber sludge yang dihasilkan dari industri tersebut yang digunakan sebagai bahan baku pabrik PCC.

Ditinjau dari aspek lokasi pemasaran, Kabupaten Mojokerto memiliki target pemasaran yang lebih luas dibandingkan Kabupaten Magetan karena terdapat berbagai industri kertas. Namun, parameter ini tidak cukup signifikan jika pemenuhan aksesibilitas distribusi produk dapat terpenuhi dengan baik.

Ditinjau dari aspek sumber utilitas berupa sumber tenaga listrik dan sumber air, Kabupaten Magetan memiliki sumber daya listrik dan air yang cukup dalam memenuhi kebutuhan utilitas pabrik. Kabupaten Magetan memiliki sumber daya listrik sebesar 1.319.794 MWh dengan delapan aliran sungai sepanjang 543.6 km sebagai sumber air pada proses produksi.

Ditinjau dari aspek sumber tenaga kerja, ketersediaan tenaga kerja di Kabupaten Magetan lebih tinggi dibandingkan Kabupaten Mojokerto dengan lulusan perguruan tinggi sebanyak 45.969 orang. Data jumlah angkatan kerja di Kabupaten Magetan sebesar 383.941 orang yang dapat menjadi sumber tenaga kerja perusahaan. Selain itu, nilai UMK di Kabupaten Magetan lebih kecil dibandingkan Kabupaten Mojokerto.

Ditinjau dari aspek aksesibilitas dan fasilitas transportasi Kabupaten Magetan memiliki akses untuk jalan raya, pelabuhan, dan bandara internasional. Kemudahan akses memberikan kemudahan dalam proses distribusi produk kepada konsumen dan menekan biaya produksi apabila

Tabel 1.
Perbandingan Proses Pembuatan PCC

Parameter	Double Decomposition	Lime Soda	Karbonasi
Temperatur Reaksi	65°C	30-60°C	20-70°C
Tekanan Operasi	Atmosferis	Atmosferis atau bertekanan	Atmosferis atau 2-10 atm
Konversi Reaksi	80%	<90%	95%
Economic Potensial	1063 USD/ton	496 USD/ton	989 USD/ton
Bentuk Kristal	Vaterit	Vaterit	Kalsit

Tabel 2.
Kandungan Limbah Sludge Berdasarkan Uji XRF

Komponen	Konsentrasi (%)
Al ₂ O ₃	3,50
SiO ₂	2,70
P ₂ O ₅	1,05
SO ₃	2,80
CaO	75,15
TiO ₂	0,23
Cr ₂ O ₃	11,10
MnO	0,18
Fe ₂ O ₃	2,44
CuO	0,12
ZnO	0,05

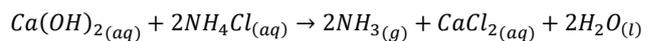
aksesibilitas dan fasilitas transportasi cukup baik.

Ditinjau dari aspek hukum dan peraturan, untuk Kabupaten Magetan dan Kabupaten Mojokerto memiliki peraturan yang tidak jauh berbeda seperti penyediaan ruang dan zona penyangga, penyediaan IPAL, dan mengembangkan kegiatan dan fasilitas pendukung skala lokal sebagai penunjang industri.

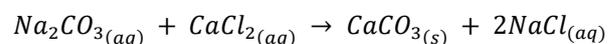
Ditinjau dari aspek iklim dan topografi, kedua wilayah tidak memiliki perbedaan iklim yang signifikan. Kedua wilayah memiliki kondisi iklim dan topografi yang hampir sama, dimana keduanya memiliki dataran rendah dan dataran tinggi. Kabupaten Mojokerto dan Magetan sama-sama memiliki wilayah datar dengan kemiringan 0 – 2 % yang luas yang cocok digunakan sebagai area industri.

Dari hasil pertimbangan tersebut, didapatkan hasil terbaik berada pada Kabupaten Magetan sebagai lokasi pabrik PCC. Gambar 1 menampilkan peta dari wilayah kabupaten Magetan, Provinsi Jawa Timur. Terdapat beberapa macam proses pembuatan PCC yaitu proses double decomposition, proses lime soda dan proses karbonasi.

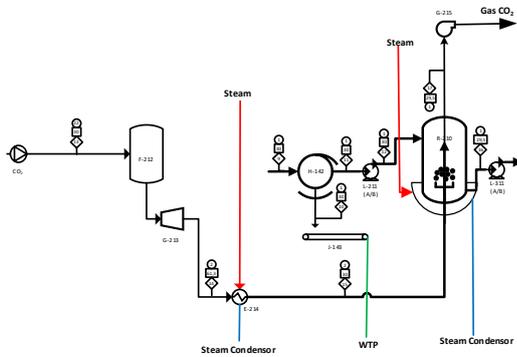
Pada proses *double decomposition*, kalsium hidroksida direaksikan dengan amonium klorida membentuk gas amonia dan larutan kalsium klorida menurut reaksi berikut:



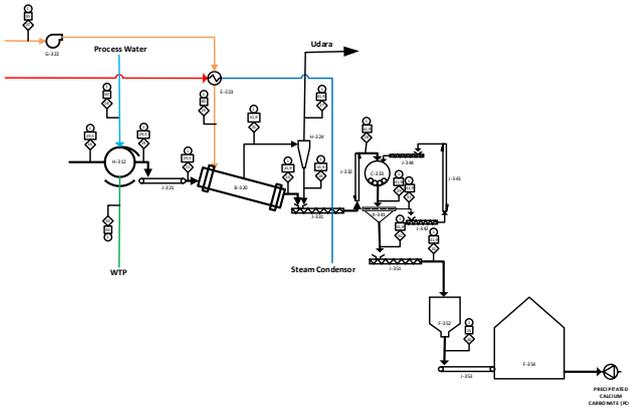
Produk PCC dapat meningkat secara signifikan dengan adanya sintetik soda ash. Larutan soda ash direaksikan dengan larutan kalsium klorida murni menghasilkan endapan kalsium karbonat dan sodium klorida sebagai produk samping. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Proses *double decomposition* merupakan yang paling sederhana, namun penggunaan larutan amonium klorida dan kalsium hidroksida yang menghasilkan kalsium klorida kurang ekonomis karena harga larutan yang mahal. Selain itu, sodium klorida sulit untuk dicuci dari filter cake karbonat dan dihilangkan pada pengolahan limbah. Variabel operasi pada



Gambar 3. Tahap karbonasi.



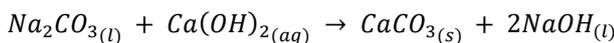
Gambar 4. Tahap pemurnian.

proses ini antara lain waktu, laju dan metode agitasi, konsentrasi, pH, dan temperatur reaksi.

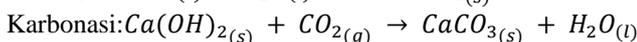
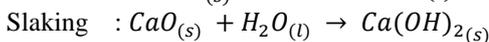
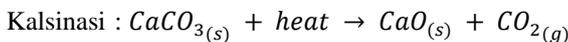
Proses Lime-Soda menghasilkan soda kaustik (soda hidroksida). Proses ini merupakan metode klasik yang biasanya digunakan oleh pabrik alkali untuk *recovery* sodium hidroksida sedangkan *Precipitated Calcium Carbonate* mentah hanya sebagai *byproduct*.

Sintesis PCC dengan metode kaustik soda diawali dengan kalsinasi batu kapur hingga terbentuk CaO. Serbuk CaO selanjutnya dilarutkan dalam air hingga terbentuk Ca(OH)₂ yang kemudian direaksikan dengan Na₂CO₃ hingga terbentuk sodium hidroksida cair dan *byproduct* berupa *precipitated calcium carbonate* (PCC). Larutan HNO₃ dapat meningkatkan kelarutan ion Ca²⁺ sehingga PCC yang dihasilkan memiliki rendemen dan kemurnian tinggi [3].

Proses berlangsung pada suhu 30-60°C dengan konversi rata-rata < 90%. Kualitas PCC yang dihasilkan dari proses ini kurang baik karena distribusi ukuran partikel PCC sangat beragam serta kandungan residu Ca(OH)₂ yang berlebih. Selain itu, pembuatan kaustik soda dengan metode ini mulai digantikan dengan metode elektrolisis [4].



Limestone dikalsinasi di dalam kiln untuk membentuk karbon dioksida dan quicklime. dan dipurifikasi akan dilewatkan dalam bentuk gelembung melewati milk of lime pada reaktor yang disebut karbonator. Di akhir proses ini akan ada pengukur pH. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Produk karbonasi selanjutnya dapat lebih jauh dipurifikasi dengan menghilangkan zat pengotor yang tersisa pada milk

Tabel 2.
Rincian Analisa Ekonomi

Parameter	Nilai
Modal Tetap (CAPEX)	USD 900.000
Biaya produksi Total (OPEX)	USD 400
Investasi Total (TCI)	USD 1.030.000
Modal Kerja (WC)	USD 130.000
WACC	11,1%
Internal Rate of Return (IRR)	-5,9%
Net Present Value (NPV)	USD -460.000
Pay Out Time (POT)	Lebih dari 12 tahun
Break Even Point (BEP)	132%

of lime sebagai partikel kasar sebagai perbandingan untuk ukuran mikrometer. Penyaringan ini juga digunakan untuk mengontrol ukuran maksimum dari produk. Pencucian filter cake tidak diperlukan dikarenakan air adalah satu-satunya produk samping dari karbonasi. Padatan filter cake secara umum mengandung CaCO₃ sebanyak 25-60%, dipengaruhi pada ukuran partikel dari PCC. Pengeringan akhir menggunakan rotary film, tunnel, spray, atau flash dryer. Hasil yang kering biasanya tidak terintegrasi dalam micropulverizer. Penggilingan material diangkut menuju storage bins yang besar untuk bulk loading atau packing dalam karung.

Beberapa kelas pelapisan dapat digunakan untuk aplikasi yang spesial. PCC harus dilapisi untuk meningkatkan flow properties, processing, dan physical properties dari produk akhir. Asam lemak, resins, dan agen basah digunakan sebagai material pelapisan sebelum atau sesudah pengeringan. Perbandingan proses pembuatan PCC dari proses karbonasi, lime soda dan double decomposition dapat dilihat dari Tabel 1.

II. URAIAN PROSES

Pembuatan PCC dari limbah sludge industri penyamakan kulit memiliki berbagai tahap proses. Secara garis besar, tahapan proses pembuatan PCC dapat dibagi tiga tahap sebagai berikut:

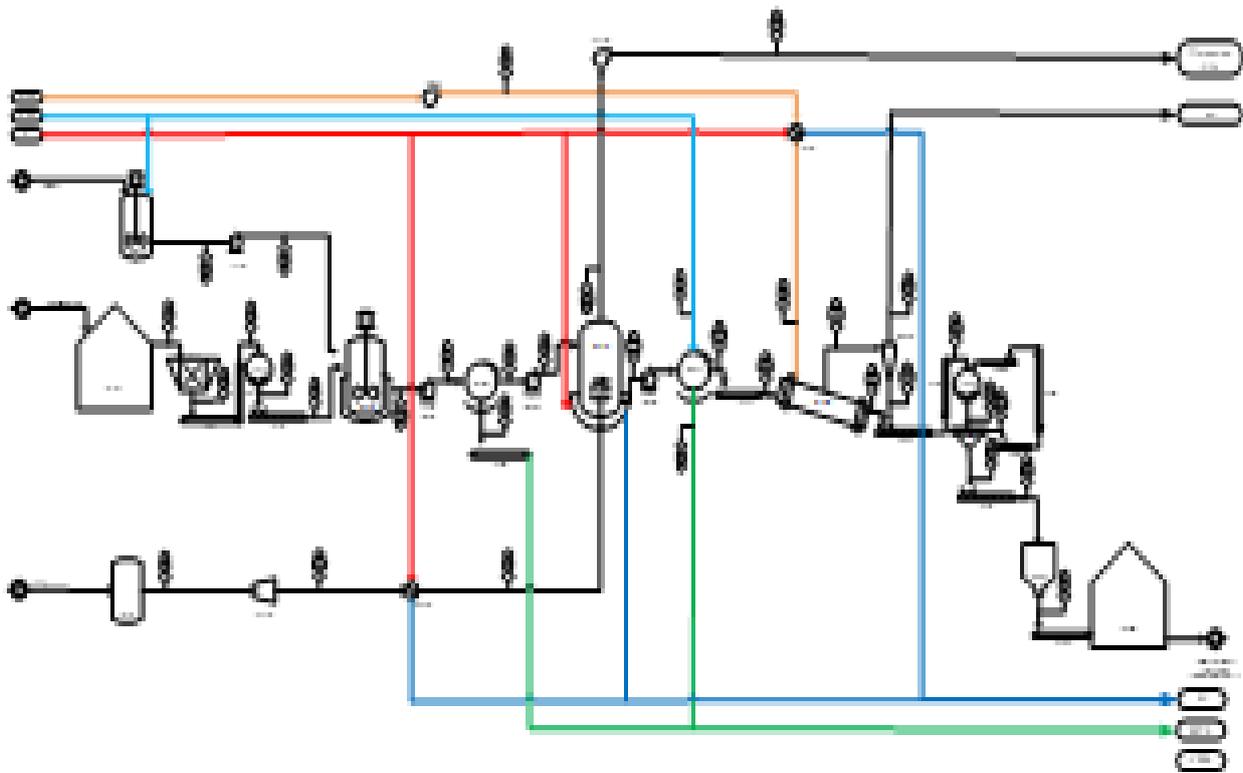
1. Tahap Pre-Treatment
2. Tahap Karbonasi
3. Tahap Pemurnian

A. Tahap Pre-Treatment

Limbah sludge kering yang berasal dari industri penyamakan kulit berbentuk padatan kering berukuran besar seperti batuan sehingga perlu untuk memperkecil ukurannya, Sludge masuk pada jaw crusher (C-112). Setelah itu masuk pada Ball Mill (C-123) untuk diseragamkan ukurannya agar terbentuk sludge kering yang halus dengan ukuran yang seragam. Kemudian sludge dibawa oleh bucket elevator menuju Batch Stirred-Tank Reactor (BSTR) (R-130) untuk masuk ke proses ekstraksi.

Limbah sludge kering memiliki banyak kandungan senyawa, rincian senyawa yang terdapat pada sludge kering dapat dilihat pada Tabel 2. Untuk memproduksi PCC maka dibutuhkan ion Ca²⁺, limbah sludge direaksikan dengan larutan NH₄Cl (ammonium klorida) yang dipompa (L-133) dari tangki (M-132) menuju reaktor ekstraksi (R-130) sehingga didapatkan CaCl₂ dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



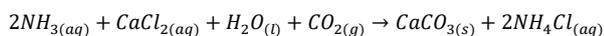


Gambar 5. Diagram alir proses pembuatan pcc.

Rincian process flow diagram untuk tahap pre-treatment dapat dilihat pada Gambar 2.

B. Tahap Karbonasi

Karbonasi merupakan tahap proses pembuatan PCC dengan penambahan gas CO_2 . Larutan CaCl_2 direaksikan dengan gas CO_2 dari tangki penyimpanan (F-212) dan ditransportasikan menggunakan expander (G-213) menuju reaktor CSTR (R-210). Gas CO_2 digunakan sebagai sumber ion karbonat untuk menghasilkan padatan CaCO_3 dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Rincian reaksi untuk proses karbonasi dengan meninjau perpindah ion-ion pada masing masing senyawa sebagai berikut [5]:

1. Reaksi Hidrasi : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
2. Reaksi Disosiasi : $\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$
3. Reaksi Disosiasi: $\text{CO}_3^{2-} + \text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{CaCO}_3$

Sumber gas CO_2 untuk tahap karbonasi berasal dari CO_2 murni. Selama pengelembungan melewati *slurry* dalam reaktor, gas CO_2 terlarut dalam air pada suhu $20 - 30^\circ\text{C}$ dengan laju alir sebesar 13 L/menit. Di dalam reaktor, mula-mula *slurry* memiliki pH 12 atau lebih, tetapi kemudian menurun selama reaksi berlangsung, dan terus menurun sehingga berada pada kesetimbangan pH 8 ± 1 . Proses karbonasi dengan menggunakan reaktor bertekanan, laju reaksi keseluruhan lebih besar bila dibandingkan dengan reaktor atmosferis karena kelarutan karbon dioksida lebih tinggi bila tekanan dinaikkan. Tekanan yang disarankan untuk reaktor karbonasi adalah 2-3 bar. Ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan perubahan sifat permukaan kalsium karbonat dapat diatur dengan mengendalikan temperatur reaksi, tekanan parsial karbon dioksida, laju alir karbon dioksida, konsentrasi *slurry* dan

kecepatan agitator. Rincian process flow diagram untuk tahap pre-treatment dapat dilihat pada Gambar 3.

C. Tahap Pemurnian

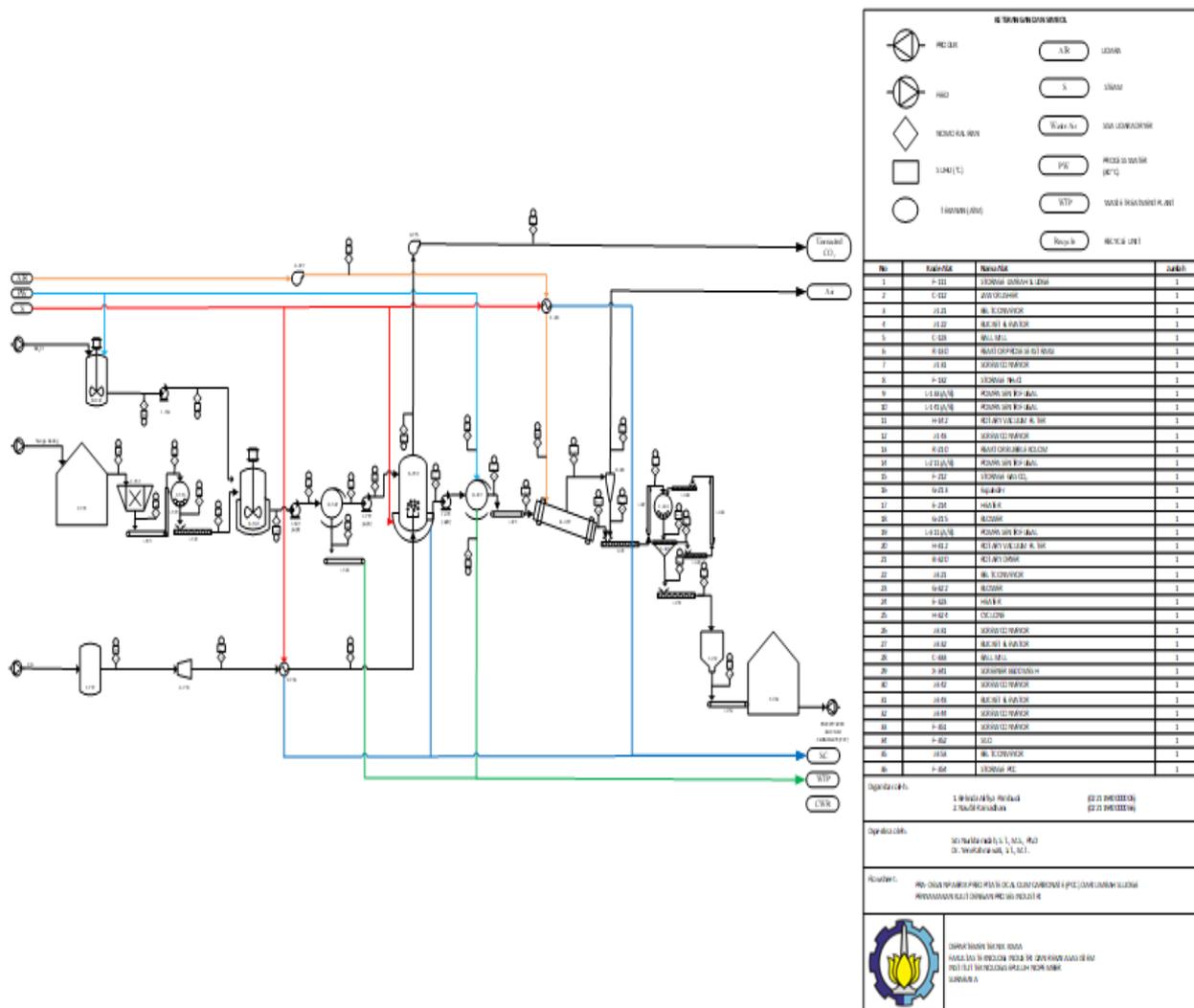
Slurry hasil karbonasi selanjutnya dipompa (L-311) menuju separator menggunakan *Rotary Vacuum Filter* (H-312) untuk menghilangkan kandungan klorida pada *slurry*. Pada *vacuum filter*, liquid ditarik keluar dari *slurry* dengan keadaan vakum pada sisi berlawanan *filter cloth*. Padatan akan terperangkap pada *filter cloth* dan cairan tertarik keluar. *Cake* yang terbentuk dilakukan pencucian dengan air.

Setelah itu, *Cake* yang memiliki kandungan *moisture tinggi* ditransportasikan dengan *screw conveyor* (J-321) menuju *Rotary Dryer* (B-320). *Cake* dikeringkan dengan temperatur operasi $86,5^\circ\text{C}$. Kemudian setelah *Cake* melewati proses pengeringan dan didapatkan PCC dengan kadar air $<1\%$, dilanjutkan ke tahap pengalusan menggunakan *Ball Mill* (C-333) untuk didapatkan ukuran 6500 mesh. Lalu, dilakukan proses penyaringan dengan menggunakan *Vibrating Screen* (X-341) untuk mendapatkan ukuran PCC yang seragam. Kemudian PCC masuk ke dalam proses penimbangan dan *packaging* menggunakan silo (F-354). Rincian process flow diagram untuk tahap pre-treatment dapat dilihat pada Gambar 4. Rincian dari seluruh proses dapat dilihat pada *process flow diagram* yang terdapat pada Gambar 5.

III. PEMBAHASAN

A. Produksi

Berdasarkan hasil perhitungan dari material balance pabrik PCC dari limbah *sludge kering* industri penyamakan kulit didapatkan bahwa dengan kapasitas feed limbah *sludge kering* sebanyak 50 Ton/tahun dapat menghasilkan produk PCC sebanyak 42,3 Ton/tahun



Gambar 6. Process flow diagram pembuatan PCC.

B. Analisa Ekonomi

Dari hasil perhitungan analisa ekonomi diperoleh Total Cost Investment (TCI) sebesar USD 1.030.000 dengan bunga 8,06% per tahun dan Net Present Value (NPV) 12 tahun sebesar USD -460.000.

Didapatkan juga Internal Rate of Return (IRR) sebesar -5,9% dan Break Even Point (BEP) sebesar 132% dengan keterangan pengembalian modalnya adalah lebih dari 12 tahun. Umur pabrik ini diperkirakan selama 12 tahun dengan masa periode pembangunannya selama 2 tahun. Rincian kelayakan pabrik dari segi ekonomi tertera pada Tabel 3.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa ekonomi didapatkan nilai IRR sebesar -5,9% yang lebih rendah dari suku bunga bank yaitu 8,06% per tahun, NPV 12 tahun sebesar USD -460.000 dimana pengembalian modalnya lebih dari 12 tahun maka pabrik PCC dari limbah sludge industri penyamakan kulit ini tidak layak didirikan.

Saran yang dapat diberikan agar pabrik PCC dapat layak untuk didirikan adalah dengan dua pilihan berikut, menaikkan kapasitas pabrik sebesar dua kali lipat dengan sistem proses kontinyu atau mengganti sistem proses pabrik menjadi sistem batch. Dikarenakan pabrik PCC berjalan beriringan dengan IPAL LIK (Lingkungan Industri Kulit)

Magetan sehingga terdapat batasan sumber bahan baku sludge kering yang dipasok sesuai dengan effluent atau output dari IPAL LIK Magetan. Oleh karena itu cukup sulit untuk menaikkan kapasitas pabrik. Kemudian, untuk pilihan kedua adalah menggunakan sistem batch sebagai pengganti sistem kontinyu. Pada proses tipe batch peralatan yang digunakan menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan proses kontinyu dan akan menurunkan harga peralatan yang dibutuhkan pula.

Process flow diagram Pra Desain Pabrik Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Limbah Sludge Penyamakan Kulit di Magetan dapat dilihat pada Gambar 6.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Y. Laksono and N. D. S. Lutfia, "Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Cangkang Kerang Darah," in *Seminar Nasional Teknik Kimia Soeardjo Brotohardjono XVI*, Surabaya: UPN "Veteran" Jawa Timur, 2020.
- [2] B. Anggraini, "Pembuatan PCC (Precipitated Calcium Carbonate) dari Limbah Cangkang Sotong dengan Variasi Konsentrasi Penambahan HNO₃," Departemen Teknik Kimia: Politeknik Negeri Sriwijaya, 2016.
- [3] J.-W. Ahn, J.-H. Kim, H.-S. Park, J.-A. Kim, C. Han, and H. Kim, "Synthesis single phase aragonite precipitated calcium carbonate in Ca(OH)₂- Na₂CO₃-NaOH reaction system," *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 22, pp. 852-856, 2005.
- [4] S. Arief and N. Jamarun, "Studi Pembentukan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Batu Kapur Alam Sumatera Barat, Padang," Departemen Teknik Kimia: Universitas Andalas, 2009.

- [5] J. Heuer, Y. Kraus, M. Vučak, and A.-P. Zen, "Enhanced sequestration of carbon dioxide into calcium carbonate using pressure and a carbonic anhydrase from alkaliphilic *Coleofasciculus chthonoplastes*," *Eng. Life Sci.*, vol. 22, no. 3-4, pp. 178--191, 2022.