

# Pra Desain Pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit

Elena Suhadi<sup>1</sup>, Annisa Sylviana<sup>1</sup>, Firman Kurniawansyah<sup>1\*</sup>

DOI: [10.12962/j2964710X.v4i1.20184](https://doi.org/10.12962/j2964710X.v4i1.20184)

**Abstrak**— Fenol merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah terbesar dari pabrik yang menggunakan kelapa sawit sebagai bahan utamanya yaitu sekitar 23% dari jumlah tandan buah segar, sehingga sampai saat ini masih sangat melimpah. Komponen utama TKKS yaitu lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Lignin inilah yang akan dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan fenol. Metode yang dipilih adalah proses pirolisis. Proses produksi fenol dari TKKS terbagi menjadi tiga bagian yaitu proses pre-treatment, proses utama (pirolisis), dan juga proses pemurnian fenol. Proses pre-treatment dibagi menjadi dua tahap yaitu proses grinding dan proses hidrolisis. Proses selanjutnya yaitu proses pirolisis dilakukan pada fluidized bed reactor dengan pemanasan menggunakan N<sub>2</sub>. Setelah itu, proses pemurnian fenol terbagi menjadi dua proses yaitu proses ekstraksi dan proses distilasi. Kemudian, ditetapkan untuk kapasitas pabrik fenol sebesar 30.000 ton/tahun. Pabrik fenol dari TKKS akan didirikan di Kota Dumai, Provinsi Riau. Penentuan lokasi ini didasarkan pada pabrik yang dekat dengan produsen bahan baku, dekat dengan Ibukota Provinsi Riau yaitu Kota Pekanbaru, dan juga ketersediaan tenaga kerja yang mencukupi. Dengan didirikannya pabrik fenol dari TKKS ini diharapkan mampu menyerap tenaga kerja untuk membantu mengurangi tingkat pengangguran di Kota Dumai, Provinsi Riau. Pabrik direncanakan mulai dibangun pada tahun 2022 dan mulai beroperasi pada tahun 2025. Investasi pembangunan pabrik berasal dari modal sendiri (equity) dan modal pinjaman bank (loan) dengan laju inflasi 1,75% pertahun dan suku bunga bank 8% pertahun. Total biaya bahan baku sebesar Rp 326.068.953.366 pertahun. Untuk Internal Rate of Return dari pabrik terkait adalah sebesar 29,73% dengan Payout Time selama 5 tahun dan 11 bulan serta nilai Break Even Point sebesar 33,08%. Pabrik ini direncanakan untuk beroperasi dengan proses Semi Batch-Continue 24 jam selama 330 hari per tahun operasi dengan rencana kapasitas produksi sebesar 90 ton/hari.

**Kata Kunci**— Fenol, Lignin, Lignoselulosa, Pirolisis, TKKS

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA sebagai negara berkembang terus mengupayakan pertumbuhan ekonomi untuk mengatasi krisis moneter akibat pandemi Covid-19 yang berkepanjangan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan sumber daya yang dimiliki Indonesia untuk terus mengembangkan sektor industri. Kementerian Perindustrian pun memprioritaskan lima bidang utama dalam usaha mengimplementasikan Revolusi Industri 4.0 dan *Sustainable Development Goals* (SDGs). Lima bidang tersebut adalah kimia, tekstil dan pakaian jadi, *automotive*, elektronik, serta makanan dan minuman.

Fenol atau benzenol merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O. Sifat fenol cenderung asam dan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan plastik, bahan baku pembuatan obat-obatan seperti aspirin, anilin, herbisida, dan resin sintetis, zat pewarna buatan, bahan

baku pembuatan alkylphenol yaitu surfaktan dan detergen dan masih banyak manfaat lainnya.

Sementara itu, bahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah terbesar dari pabrik kelapa sawit, yaitu sekitar 23% tandan buah segar sehingga ketersediannya sangat melimpah. Komponen utama limbah kelapa sawit adalah selulosa dan lignin.

Tabel 1.  
Komponen Tandan Kosong Kelapa Sawit

Komponen	Kandungan
Lignin	21%
Selulosa	40%
Hemiselulosa	24%
Kadar Abu	15%

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2019, luas areal perkebunan kelapa sawit mencapai 14,6 juta hektar dengan produksi *Crude Palm Oil* sebesar

<sup>1</sup>Departement of Chemical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia. E-mail: [fkurniawan@chem-eng.its.ac.id](mailto:fkurniawan@chem-eng.its.ac.id)

48,42 juta ton per tahunnya. Data ekspor dan impor fenol setiap tahunnya dari tahun 2017 hingga 2020 menunjukkan bahwa nilai impor masih sangat besar apabila dibandingkan dengan data ekspor sehingga nilai ini dapat mengindikasikan bahwa kebutuhan fenol di Indonesia masih sangat tinggi.

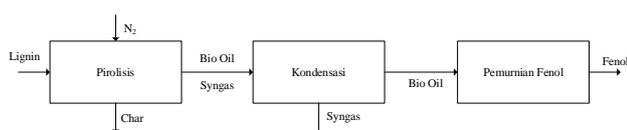
Fenol sendiri merupakan salah satu komponen penyusun *bio-oil* dimana komponen fenol dalam *bio-oil* mencapai 47,03%. *Bio-oil* dapat diproduksi melalui proses pirolisis dengan bahan baku TKKS. Pirolisis adalah proses pemanasan suatu senyawa tanpa menggunakan oksigen sehingga terjadi penguraian komponen kayu keras. Pirolisis tidak memerlukan waktu yang lama untuk menghasilkan *bio-oil*, namun memerlukan temperatur tinggi yaitu 500°C dan gas N<sub>2</sub>.

## II. URAIAN PROSES

### A. Seleksi Proses

Pemilihan atau seleksi proses yang akan digunakan perlu memerhatikan beberapa aspek penting. Aspek yang perlu diperhatikan yaitu aspek teknis, seperti penggunaan bahan baku (jumlah dan kualitas bahan), konversi, kualitas, dan kuantitas produk serta operasi proses yang meliputi temperatur dan tekanan selama operasi berlangsung. Kemudian, aspek berikutnya adalah aspek ekonomi, aspek lingkungan yang berhubungan dengan bahan baku, proses, ataupun produk yang dapat membahayakan lingkungan. Seleksi proses yang dilakukan pada pemilihan proses untuk produksi fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit yaitu proses pirolisis dan proses *pyro-catalysis*.

Proses pirolisis adalah proses pemanasan suatu senyawa tanpa memerlukan oksigen. Pirolisis juga dapat dikatakan sebagai proses penguraian tidak teratur dari bahan organik dikarenakan terdapat pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Pada proses pirolisis, molekul hidrokarbon besar biomassa dipecah menjadi molekul hidrokarbon yang lebih kecil. Pirolisis dapat dengan cepat menghasilkan bahan bakar cair yang disebut dengan *bio-oil*. Kemudian, pada proses ini juga menghasilkan gas dan arang padat, dimana merupakan salah satu bahan bakar yang digunakan sebelum ditemukannya batu bara yang dimanfaatkan dalam proses pemanasan dan ekstraksi logam. Maka, proses pirolisis merupakan proses konversi biomassa limbah menjadi bahan yang lebih berguna dan dapat dimanfaatkan [1].

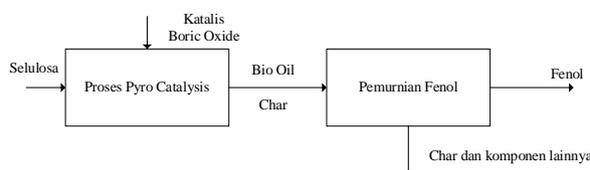


**Gambar 1.** Diagram Blok Proses Pembuatan Fenol Menggunakan Proses Pirolisis

*Bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar mesin, turbin, dan boiler.

Namun, apabila *bio-oil* diproses lebih lanjut melalui proses ekstraksi, maka akan menghasilkan beberapa bahan kimia, salah satunya adalah fenol [2].

Selanjutnya, proses *pyro-catalysis* menggunakan bantuan katalis *boric oxide* yang berfungsi sebagai zat yang mengambil *bio-oil* dari TKKS, dengan menggunakan *fixed bed reactor* pada suhu 400°C. Mekanisme proses *pyro-catalysis* adalah dengan penambahan boron trioksida akan mendorong penghilangan gugus hidroksil dengan pembentukan senyawa tersubstitusi alkil dari kandungan oksigen yang tereduksi. Hal ini ditunjukkan dengan terjadinya perubahan dari struktur oksida borat yang awalnya segitiga planar menjadi tetrahedral dengan oksigen tambahan yang diperoleh dari gugus hidroksil yang terlepas dari selulosa. Tetapi, apabila proses ini dilakukan secara independen dinilai kurang efektif karena fenol yang dihasilkan hanya 1% dan arang yang dihasilkan lebih tinggi.



**Gambar 2.** Diagram Blok Proses Pembuatan Fenol Menggunakan Proses *Pyro-Catalysis*

Setelah dilakukan analisis menggunakan aplikasi Expert Choice, didapatkan bahwa proses yang digunakan adalah proses pirolisis. Dengan pertimbangan bahan baku yang lebih mudah didapatkan serta biayanya yang lebih murah, lalu kadar produk fenol dari proses pirolisis jauh melebihi kadar produk fenol dari proses *pyro-catalysis*. Selain itu, proses pirolisis lebih cepat dan tekanan operasinya lebih mudah dicapai daripada proses *pyro-catalysis*.

### B. Kapasitas Pabrik

Dasar pemilihan kapasitas Pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit didasarkan pada kapasitas pabrik-pabrik pemroduksi fenol di Indonesia yang sudah ada dikarenakan data produksi dan konsumsi fenol pada tahun 2017-2020 sangat fluktuatif. Berdasarkan data kapasitas-kapasitas pabrik fenol di Indonesia, ditentukan kapasitas Pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebesar 30000 ton/tahun nya.

Tabel 2.  
Data Kapasitas Perusahaan Pemroduksi Fenol

Nama Perusahaan	Kapasitas Pabrik (ton/tahun)
PT. Metropolitan Penol Pratama	40000
PT. Lambang Tri Usaha	45000
PT. Batu Penggal Chemical Industri	35000
PT. Bumi Banjar Utama Sakti	5250

### C. Seleksi Lokasi Pabrik

Aspek yang sangat menentukan keberlangsungan dan kesuksesan suatu pabrik adalah letak geografis. Letak geografis sangat berpengaruh terhadap faktor produksi dan distribusi produk dari pabrik tersebut. Dalam menentukan lokasi didirikannya pabrik harus mempertimbangkan beberapa aspek pula, seperti ketersediaan bahan baku di daerah tersebut, ketersediaan suplai air, ketersediaan lahan, fasilitas transportasi, ketersediaan tenaga kerja, dan ketersediaan energi. Dengan mempertimbangkan aspek-aspek tersebut, diharapkan lokasi pabrik yang ideal dapat ditentukan agar dapat mengoptimalkan produktivitas, menjaga keberlangsungan pabrik, dan meningkatkan kapasitas pabrik, sehingga menghasilkan keuntungan bagi pabrik dan juga lingkungan sekitar [8].

Analisis dilakukan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan menggunakan aplikasi Expert Choice. Dari hasil penilaian seleksi lokasi didapatkan bahwa Kota Dumai, Provinsi Riau adalah lokasi yang tepat untuk didirikannya Pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. Penentuan lokasi ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu lokasi pabrik dekat dengan produsen bahan baku, dekat dengan Ibukota Provinsi Riau yaitu Kota Pekanbaru, dan juga ketersediaan tenaga kerja yang banyak. Kemudian, di Provinsi Riau terdapat akses pelabuhan dan jalan tol yang akan mempermudah kegiatan pemasaran fenol di Indonesia.

### D. Data Dasar Perancangan

Ketersediaan bahan baku yaitu TKKS merupakan limbah dari kelapa sawit dimana kelapa sawit (*Ellaies quineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas utama perkebunan yang ada di Indonesia. Kandungan TKKS sendiri adalah lignin (21%), selulosa (40%), hemiselulosa (24%), dan kadar abu (15%). Dimana, pada pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit ingin mengambil lignin untuk proses pirolisis. Lignin adalah sebuah senyawa kimia yang tersusun dari polimer alami yang memiliki fungsi utama sebagai perekat pada lapisan tumbuhan. Untuk mendapatkan senyawa lignin, sebelum dilakukan proses pirolisis terlebih dahulu dilakukan serangkaian proses yaitu selulosa dan hemiselulosa dipecah atau dihidrolisis menjadi monomer gula dengan cara enzimatis atau menggunakan asam [3].

Fenol yang dihasilkan harus memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) dimana spesifikasi persyaratan mutu tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3.  
Spesifikasi Mutu Fenol

Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
Massa Jenis Fenol pada 20°C	gr/mL	1,055 – 1,060
Kadar Fenol	%	≥ 90
Kadar Air	%	≤ 10
Kadar Klorida	%	≤ 0,05
Kadar Besi (Fe)	%	≤ 0,01

### E. Proses Produksi

Proses pembuatan fenol dari TKKS menggunakan proses utama pirolisis. Secara umum, proses pembuatan fenol terdiri dari tiga tahapan yaitu :

1. Proses *pre-treatment* : pencacahan dan hidrolisis.
2. Proses utama : pirolisis.
3. Proses pemurnian fenol : proses ekstraksi dan proses distilasi.

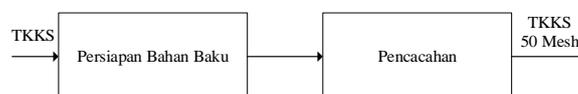
### F. Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui kelayakan pabrik untuk dibangun, dimana dalam analisa ekonomi terdapat perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR), *Net Present Value* (NPV), *Pay Out Time* (POT), dan *Break Even Point* (BEP).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

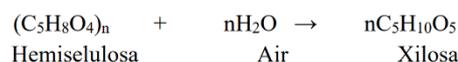
### A. Proses Pre-Treatment

Sebelum dilakukan proses hidrolisis, terdapat beberapa langkah yang perlu dilakukan. Pertama-tama, TKKS yang merupakan bahan baku dipindahkan dari tempat penyimpanan menuju *Hammer Mill* menggunakan *bucket elevator*, ukuran TKKS dikecilkan hingga ukuran 50 mesh dan selanjutnya dibawa menuju ke proses hidrolisis dengan menggunakan *screw conveyor*.



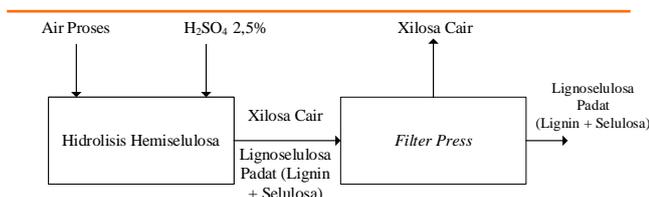
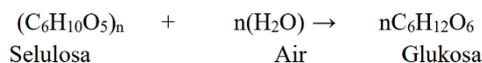
Gambar 3. Diagram Blok Proses Pencacahan

Proses hidrolisis dilakukan dua kali pada dua tangki yang berbeda, hidrolisis pertama dilakukan untuk menghidrolisis hemiselulosa menjadi xilosa. Proses ini dilakukan dengan menambahkan air dan asam sulfat dengan konsentrasi 2,5%. Reaksi yang terjadi pada proses ini yaitu:



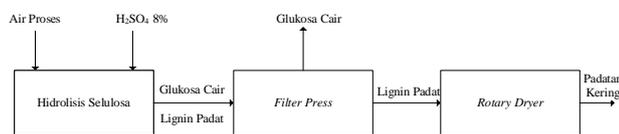
Proses hidrolisis ini dilakukan pada suhu 120°C dengan medium pemanas *steam*. Reaksi yang terjadi selama 1-1,5 jam. Pada tangki hidrolisis terbentuk xilosa ( $C_5H_{10}O_5$ ) yang berbentuk cairan dan padatan yang tidak terhidrolisa yaitu lignoselulosa (lignin dan selulosa). Konversi xilosa yang terbentuk yaitu sebesar 66-71%.

Lignoselulosa yang tersisa dibawa menuju tangki hidrolisis kedua. Proses hidrolisis ini menggunakan air dan asam sulfat dengan konsentrasi 8% yang berfungsi sebagai katalis. Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Blok Proses Hidrolisis Hemiselulosa

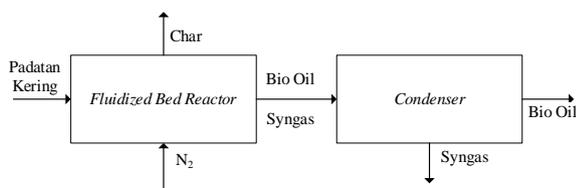
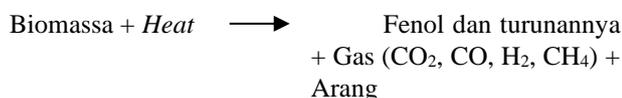
Proses hidrolisis ini dilakukan pada suhu 180°C dan menggunakan media pemanas *steam*. Konversi glukosa yang terbentuk sebesar 76% [4]. Lignin (padatan) dan glukosa (cairan) selanjutnya dipisahkan menggunakan *filter press*. *Cake* yang keluar menuju ke *rotary dryer* untuk mengurangi kadar air dari padatan lignin hingga 13,2% padatan kering [4].



Gambar 5. Diagram Blok Proses Hidrolisis Selulosa

### B. Proses Pirolisis

Padatan yang sudah dikeringkan lalu dilakukan proses pirolisis pada *fluidized bed reactor* dengan pemanasan menggunakan  $\text{N}_2$  dengan *flowrate* 100 mL/menit untuk ukuran 5 kg *feed*. Temperatur di dalam reaktor adalah 500 — 550°C. dengan waktu tinggal selama 0,5-2 detik. Hasil dari reaktor ini bahan baku akan terpecah menjadi fenol dan turunannya, gas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ), dan gas  $\text{N}_2$ . Fenol dan turunannya akan menuju kondensor untuk mengubah dari fase gas menjadi fase liquid dan kemudian didinginkan menggunakan *cooler* hingga suhu 30 °C. Hasil dari proses ini didapatkan bio-oil 66% berat bahan baku [4]. Hasil dalam bio-oil ini akan mendapatkan total phenolic compounds sebesar 47,03%. Reaksi yang terjadi dalam proses pirolisis adalah



Gambar 6. Diagram Blok Proses Pirolisis

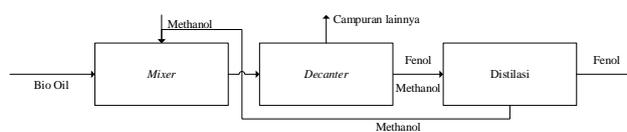
### C. Proses Pemurnian Fenol

Proses pemurnian fenol yang sudah dihasilkan,

dilakukan dua tahapan yaitu proses ekstraksi dan distilasi. Proses ekstraksi adalah proses pemisahan dari campurannya dengan menggunakan pelarut yang sesuai. Sementara, distilasi adalah proses pemisahan bahan kimia berdasarkan titik didihnya atau kemudahan suatu zat menguap (volatilitas) untuk mendapatkan produk yang murni [5].

Setelah proses pirolisis, *liquid* selanjutnya dicampur dengan metanol dalam *mixer*. Metanol adalah campuran yang ditambahkan dengan maksud untuk mengikat fenol dan turunannya dan memisahkannya dari campuran lainnya. Perbandingan antara *liquid* dan metanol yang ditambahkan adalah sebesar 1:3. Setelah dicampur, diharapkan terdapat dua lapisan yang terbentuk dimana lapisan atas adalah campuran *liquid* yang tidak dapat larut dengan metanol, sedangkan lapisan bawah adalah campuran *liquid* yang tidak dapat larut dengan metanol. Setelah itu, pemisahan lapisan atas dan bawah dilakukan pada unit dekanter. Efisiensi alat dekanter adalah sebesar 90% dengan asumsi. Hasil lapisan atas dari dekanter menuju ke kolom distilasi. Sementara, untuk lapisan bawah masuk ke penampungan untuk pengolahan limbah bahan beracun dan berbahaya.

Lapisan atas dari dekanter selanjutnya masuk ke dalam kolom distilasi untuk memisahkan fenol, metanol dan turunannya. Dalam proses distilasi dilakukan pemisahan berdasarkan titik didihnya. Pada kondisi tekanan 1 atm titik didih fenol adalah 181,7°C dan titik didih metanol adalah 64,7°C [6]. Maka, proses distilasi dipilih dengan kondisi operasi tekanan 1 atm dan temperatur 80°C. Temperatur ini dipilih agar benar-benar terpisahkan antara metanol dan fenol. Selanjutnya produk bawah masuk ke dalam cooler untuk didinginkan hingga 30°C dan dibawa ke tangki penampung. Sementara, produk atas masuk kedalam kondensor dengan persen *recovery* metanol 99,8%. Metanol yang sudah dikondensasi masuk ke dalam tangki penampung dan akan digunakan kembali pada proses ekstraksi [7].



Gambar 7. Diagram Blok Proses Pemurnian Fenol.

### D. P&ID Alat Utama

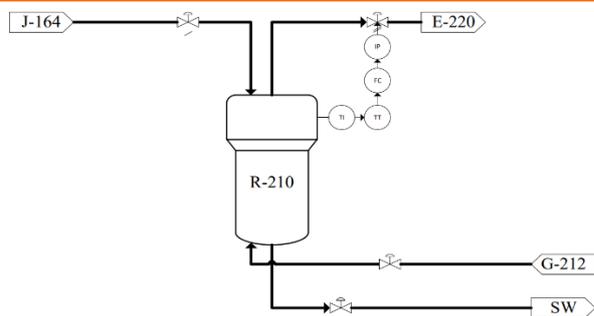
Proses P&ID alat utama (reaktor R-210) ditunjukkan pada gambar 8.

### E. Neraca Massa dan Energi

Dilakukan perhitungan untuk neraca massa pabrik Fenol dari TKKS yang beroperasi selama 330 hari kerja per tahunnya, 24 jam operasi per harinya, dan kapasitas produksi 30000 ton/tahun. TKKS yang dibutuhkan adalah 2833261 ton/tahun atau 8568 ton per harinya.

Selanjutnya, untuk neraca energi didapatkan bahwa

kebutuhan panas total sebesar 339.063.394,5 kJ dan kebutuhan *power* total sebesar 1.012,94 hp.



Gambar 8. Piping and Instrumentation Design Reaktor Pirolisis

#### F. Analisa Ekonomi

Dalam melakukan analisa ekonomi, perlu dilakukan peninjauan terlebih dahulu terhadap *capital expenditure* (CAPEX) dan *operating expenditure* (OPEX) suatu pabrik yang ingin didirikan. Dimana CAPEX adalah biaya-biaya yang dikeluarkan dalam rangka memperoleh aset tetap, meningkatkan operasional dan kapasitas produktif aset tetap, serta memperpanjang masa manfaat aset tetap. CAPEX juga dikenal sebagai *Fixed Capital Investment* (FCI). Sementara, OPEX adalah biaya terkait dengan operasional perusahaan meliputi biaya penjualan dan administrasi, biaya iklan, biaya penyusutan, serta perbaikan dan pemeliharaan. OPEX juga dikenal sebagai *Total Production Cost* (TPC).

Pendirian pabrik fenol dari TKKS akan didirikan di Kota Dumai, Riau dengan perencanaan mulai beroperasi pada tahun 2025. Umur pabrik diperkirakan 10 tahun dengan depresiasi sebesar 10% per tahun. Modal investasi terbagi menjadi dua yaitu modal sendiri (*equity*) sebesar 60% dan modal pinjaman bank (*loan*) sebesar 40%. Pengembalian modal pinjaman bank sebesar 10% per tahun dengan lama waktu pengembalian selama 10 tahun. Selanjutnya, laju inflasi di Indonesia sebesar 1,75% menurut Bank Indonesia. Kapasitas produksi dari pabrik fenol pada tahun pertama sebesar 60% kemudian pada tahun kedua sebesar 80% dan seterusnya dilanjutkan sebesar 100%.

Setelah dilakukan perhitungan maka pabrik fenol dari TKKS memerlukan biaya bahan baku sebesar Rp 326.068.953.366 per tahunnya. Lalu, harga CAPEX sebesar Rp 695.087.426.053,50 [8]. Selanjutnya, harga OPEX adalah sebesar Rp 1.446.676.594.750,63.

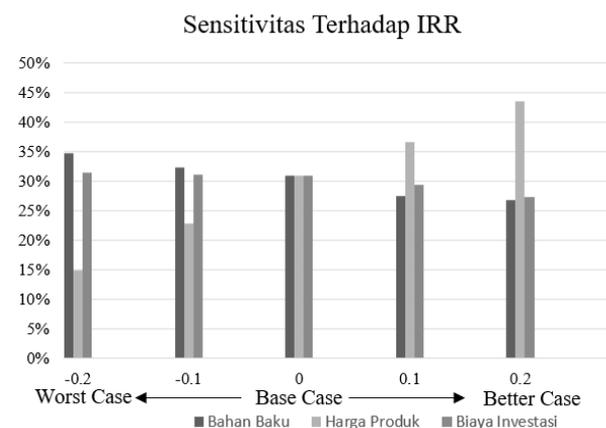
*Net Present Value* adalah selisih antara present value dari investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan – penerimaan kas bersih yang akan datang. *Cost of equity* adalah tingkat pengembalian yang diharapkan oleh para investor terhadap modal yang diinvestasikan dalam suatu perusahaan. Terdapat beberapa metode untuk menghitung

*cost of equity*, diantaranya dengan *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) dan Deviden. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai NPV untuk Pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebesar Rp 1.092.083.296.949. NPV bernilai lebih dari nol yang menandakan bahwa proyeksi pendapatan yang dihasilkan atau investasi melebihi dari proyeksi biaya yang dikeluarkan sehingga perusahaan layak untuk didirikan.

Aspek selanjutnya adalah *Internal Rate of Return* (IRR) yaitu tingkat bunga tertentu, dimana seluruh penerimaan akan dapat menutup seluruh jumlah pengeluaran modal. Untuk *Internal Rate of Return* dari pabrik Fenol dari TKKS adalah sebesar 29,73%.

Lalu, *Payout Time* atau waktu pengembalian modal selama 5 tahun dan 11 bulan menunjukkan bahwa pabrik layak untuk didirikan karena nilai POT yang lebih kecil dibandingkan dengan perkiraan umur pabrik. Serta nilai *Break Even Point* sebesar 33,08%. Pabrik ini direncanakan untuk beroperasi dengan proses *Semi Batch-Continue* 24 jam selama 330 hari per tahun operasi dengan rencana kapasitas produksi sebesar 90 ton/hari.

Aspek selanjutnya yang ditinjau adalah Sensitivitas terhadap IRR yang digunakan untuk menganalisa nilai IRR terhadap perubahan-perubahan yang terjadi.



Gambar 9. Grafik Analisa Perubahan Nilai IRR

Pada Pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dilakukan analisa sensitivitas nilai IRR terhadap tiga aspek yaitu perubahan harga bahan baku, perubahan harga jual produk dan perubahan harga TCI. Hasil perhitungan sensitivitas dapat dilihat pada Gambar 9.

#### G. Aspek Sosial dan Lingkungan

Berkaitan dengan aspek sosial, masyarakat luas dapat merasakan dampak positif dengan penjualan limbah kelapa sawit ke perusahaan, sehingga dapat meningkatkan pendapatan masyarakat sekitar. Selain itu, perusahaan juga akan merekrut penduduk local sebagai bentuk penyerapan tenaga kerja dan secara tidak langsung membuka lapangan

kerja baru yang dapat menekan angka pengangguran di daerah tersebut. Bagi pemerintah dampak yang dirasakan adalah dalam bentuk pajak baik untuk pemerintah daerah maupun pemerintah pusat.

Dalam pembangunan pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit akan berada di Kawasan Industri sehingga diharapkan tidak akan mengambil lahan pertanian atau lahan pemukiman warga sekitar. Namun, tentu akan ada dampak seperti debu, pencemaran air, dan tanah yang diakibatkan oleh limbah pabrik. Debu yang dihasilkan oleh proses pembakaran dapat mengakibatkan pencemaran udara, sedangkan pencemaran air dan tanah dapat diakibatkan oleh limbah limbah industri, seperti zat-zat kimia sisa proses produksi.

Program yang dapat dijalankan perusahaan adalah *Corporate Social Responsibility* (CSR) dimana program ini dibentuk untuk mengatasi pencemaran lingkungan yang sudah disebutkan di atas dan dapat dilakukan dengan program penghijauan lingkungan sekitar lokasi pabrik. Selain itu, upaya untuk mengurangi limbah dapat dilakukan dengan memilih bahan baku serta peralatan yang ramah lingkungan dan memastikan bahwa limbah yang akan dibuang telah diolah menjadi zat-zat yang tidak berbahaya. Dalam melakukan usaha mengurangi dampak berbahaya dari limbah yang dihasilkan tentu tidak lupa harus pula melakukan koordinasi dengan pemerintah setempat.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan uraian di atas, dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Perencanaan operasi pada pabrik Fenol dari TKKS dengan metode pirolisis akan beroperasi dengan proses Semi Batch-Kontinyu, 24 jam / hari selama 330 hari / tahun.
2. Kapasitas Pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit yaitu sebesar 30.000 ton/tahun.
3. Kebutuhan bahan baku utama yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit sebesar 2.833.261 ton/tahun.
4. Pembangunan Pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit direncanakan mulai pada tahun 2022 di Kota Dumai, Provinsi Riau dan direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2025.
5. Pabrik memiliki umur pabrik 10 tahun.
6. Biaya produksi total Pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit yaitu Rp 1.446.676.954.750.
7. Hasil penjualan total yaitu Rp 1.912.662.757.392.
8. Laju pengembalian modal (IRR) sebesar 30,82% dan waktu pengembalian modal selama 5 tahun dan 9 bulan.

Maka, berdasarkan data-data yang sudah diuraikan di atas dapat disimpulkan bahwa pabrik Fenol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sudah memenuhi syarat untuk didirikan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, kepada orang tua penulis, serta seluruh pihak yang terlibat dan membantu penulis dalam menyelesaikan proses penyusunan jurnal ini. Penulis sangat bersyukur atas dukungan, doa, dan kasih yang diberikan hingga penulis mampu menyelesaikan jurnal ini dengan baik. Tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem dan Laboratorium Proses Reaksi Kimia dan Konversi Biomassa atas bimbingannya. Terakhir, Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pembaca, semoga jurnal yang sudah disusun ini dapat memberikan manfaat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Basu, "Biomass Gasification and Pyrolysis," USA: Elsevier, 2010.
- [2] A. V. Bridgewater, "Biomass Fast Pyrolysis," *Thermal Science*, vol. 8, no.2, 2004.
- [3] S. Suhartati, "Analisis Sifat Fisika dan Kimia Lignin Tandan Kosong Kelapa Sawit asal Desa Sape, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat," Jakarta: Akademi Kimia Analisis Caraka Nusantara, 2016.
- [4] D. S. Fardhyanti, A. Damayanti, "Analysis of Bio-Oil Produced by Pyrolysis of Coconut Shell," *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, vol. 11, no. 9, 2017.
- [5] N. T. Wahyudi, dll, "Rancangan Alat Distilasi untuk Menghasilkan Kondensat dengan Metode Distilasi Satu Tingkat," Program Studi Teknik Kimia, Universitas Mulawarman, 2017.
- [6] K. Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology," 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley&Sons, New York, 1968.
- [7] K. Davis, et all, "Promoting Microbial Utilization of Phenolic Substrates from Bio-Oil," *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2019.
- [8] M. S. Peter, and K. D. Timmerhaus, "Plant Design and Economic for Chemical Engineers," McGraw-Hill Inc, New York, 1991.