

PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI SEKAM PADI MELALUI METODE PIROLISIS CEPAT DENGAN KAPASITAS 24.000 TON/TAHUN

Moch. Irgi Fadhilal Abi^{1*}, Muhammad Attar Rafif¹, Ditta Kharisma Yolanda Putri¹, Helda Wika Amini¹, Boy Arief Fachri¹

¹Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan No. 37, Jember Jawa Timur, 68121

*Corresponding Author: irgifadhilal87@gmail.com

Abstrak

Fenol (C₆H₆O) merupakan senyawa kimia penting yang digunakan secara luas dalam berbagai industri, seperti produksi resin, pestisida, farmasi, dan bahan kimia lainnya. Kebutuhan fenol di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya, namun hingga saat ini belum terdapat produsen fenol dalam negeri sehingga seluruh kebutuhan masih dipenuhi melalui impor. Untuk mengurangi ketergantungan impor dan mendukung keberlanjutan industri kimia nasional, diperlukan pengembangan pabrik fenol berbasis biomassa. Sekam padi dipilih sebagai bahan baku utama karena merupakan limbah pertanian yang melimpah dan mengandung lignin tinggi, yang berpotensi menghasilkan senyawa fenolik melalui proses termokimia. Pabrik fenol ini dirancang dengan kapasitas 24.000 ton/tahun dan waktu operasi 330 hari/tahun. Proses produksi menggunakan metode fast pyrolysis dengan bantuan katalis ZSM-5, yang mampu meningkatkan selektivitas terhadap pembentukan fenol. Lokasi pabrik direncanakan di Desa Haurkolot, Kecamatan Haurgeulis, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. Setiap jam, pabrik ini dapat memproduksi sekitar 3.030,3 kg fenol sebagai produk utama, serta menghasilkan produk samping berupa bio-oil dan bio-char. Kebutuhan bahan baku sekam padi diperkirakan sebesar 117.998,73 ton/tahun, yang dapat diperoleh dari sisa penggilingan padi di wilayah Jawa Barat dan sekitarnya. Proses produksi terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu persiapan bahan baku, reaksi pirolisis dalam reaktor fluidized bed, dan pemurnian produk. Utilitas utama meliputi penyediaan air, listrik, bahan bakar, gas nitrogen, serta sistem pendingin dan pengolahan limbah. Pabrik ini dirancang dalam bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi line and staff dan mempekerjakan sebanyak 169 orang tenaga kerja. Berdasarkan hasil analisis kelayakan ekonomi, pabrik ini dinyatakan layak dengan nilai Pay Out Time (POT) selama 1,4 tahun, Rate of Return Investment (ROR) sebesar 69,37%, dan Break Even Point (BEP) sebesar 50%. Dengan pendirian pabrik ini, diharapkan dapat mendukung pengurangan impor fenol, meningkatkan pemanfaatan limbah pertanian, serta mendukung transisi menuju industri kimia hijau yang berkelanjutan di Indonesia.

Kata kunci : *fenol, sekam padi, biomassa, pirolisis, analisis ekonomi.*

1. Pendahuluan

Fenol merupakan senyawa kimia yang memiliki peran penting dalam berbagai industri, termasuk produksi resin, farmasi, pestisida, dan bahan kimia lainnya. Senyawa ini digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan polikarbonat, nilon, pewarna, serta sebagai zat antara dalam sintesis berbagai senyawa organik lainnya (Gardziella et al., 2013). Salah satu aplikasi fenol adalah dalam produksi resin, khususnya resin fenolik, yang digunakan dalam pembuatan laminasi, pelapis, dan komposit (Rahma & Ritonga, 2025). Produksi fenol secara industri umumnya dilakukan melalui proses cumene, yang bergantung pada bahan baku berbasis fosil seperti benzena dan propilena (Mancuso et al., 2020). Namun, ketergantungan pada bahan baku fosil

dalam produksi fenol memiliki beberapa permasalahan yang signifikan. Cadangan bahan baku berbasis fosil semakin menipis akibat eksploitasi yang terus-menerus, sementara harga bahan baku seperti benzena dan propilena sangat dipengaruhi oleh kondisi geopolitik dan pasar global, yang dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam industri kimia. Selain itu, proses cumene menghasilkan emisi karbon yang tinggi, yang berkontribusi pada perubahan iklim dan pencemaran lingkungan (Putra, 2019).

Di sisi lain, sekam padi merupakan limbah pertanian yang jumlahnya melimpah di Indonesia. Sebagai negara agraris yang penduduknya mengonsumsi beras sebagai makanan pokok, produksi padi di Indonesia meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Pada tahun 2024, produksi padi di Indonesia sebesar 53,14 juta ton



gabah kering giling (Badan Pusat Statistik, 2025). Menurut (BPS Jawa Barat, 2025), produksi padi di Provinsi Jawa Barat tahun 2024 sebesar 8.626.879,91 ton. Pada umumnya diperoleh limbah sekam padi sekitar 20 – 30% dari bobot padi saat proses penggilingan (Pujotomo, 2017). Saat ini, sebagian besar sekam padi belum dimanfaatkan secara optimal dan sering kali hanya dibuang atau dibakar secara terbuka, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Sekam padi memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi, dengan komposisi utama berupa sekitar 30-50% selulosa, 20-30% hemiselulosa, dan 15-25% lignin. Lignin dalam sekam padi merupakan komponen utama yang berkontribusi terhadap produksi senyawa fenolik ketika dilakukan proses termokimia seperti fast pyrolysis. Selain itu, sekam padi juga mengandung mineral seperti silika yang dapat berpotensi untuk dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi industri (Kumar et al., 2013).

Fast pyrolysis merupakan metode pirolisis cepat yang memungkinkan konversi biomassa menjadi bio-oil dalam kondisi suhu tinggi (400-600°C) dan tanpa oksigen. *Bio-oil* yang dihasilkan mengandung berbagai senyawa fenolik yang dapat dipisahkan dan dimurnikan menjadi fenol murni (Mostafazadeh et al., 2018). Teknologi ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode konvensional. *Fast pyrolysis* memanfaatkan limbah biomassa yang berlimpah dan dapat diperbarui sehingga lebih berkelanjutan.

Selain itu, proses ini lebih ramah lingkungan karena mengurangi ketergantungan pada bahan baku fosil dan menurunkan emisi karbon yang dihasilkan dari proses produksi fenol konvensional. Dari segi ekonomi, teknologi ini juga memberikan peluang besar dalam meningkatkan nilai tambah limbah pertanian dan mendukung pengembangan industri berbasis biomassa (Wijayanti et al., 2020). Perancangan pabrik fenol dari sekam padi dengan proses *fast pyrolysis* diharapkan dapat menjadi solusi inovatif dalam menyediakan bahan baku fenol secara lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Dengan semakin berkembangnya teknologi konversi biomassa, peluang untuk mengembangkan industri berbasis biomassa semakin terbuka, mendukung transisi menuju ekonomi hijau dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian dan perancangan pabrik ini menjadi sangat penting untuk dikembangkan lebih lanjut guna mendukung industri kimia yang lebih ramah lingkungan serta meningkatkan kemandirian industri nasional dalam memenuhi kebutuhan fenol.

2. Deskripsi Proses

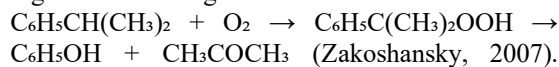
2.1 Pemilihan Proses

Pembuatan fenol secara industri dapat dilakukan melalui beberapa metode, seperti

Proses Kumena (*Cumene Process*), Proses Klorobenzena (*Chlorobenzene Hydrolysis*), dan Pirolisis.

1. Proses Kumena (*Cumene Process*)

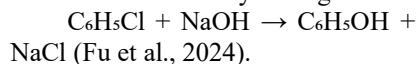
Proses ini merupakan metode paling umum dan komersial dalam industri kimia untuk memproduksi fenol. Reaksi dimulai dengan alkilasi benzena menggunakan propilena untuk membentuk *cumene* (isopropilbenzena). Selanjutnya, *cumene* dioksidasi dengan udara menghasilkan *cumene* hidroperoksida, yang kemudian dipecah (*cleavage*) menggunakan asam untuk menghasilkan fenol dan produk samping berupa aseton. Reaksinya dapat digambarkan sebagai:



Kelebihan utama dari proses ini adalah teknologi yang sudah matang, efisiensi tinggi, dan ketersediaan bahan baku. Namun, proses ini sangat bergantung pada sumber daya fosil dan menghasilkan produk samping aseton yang tidak selalu diperlukan dalam jumlah besar, sehingga bisa menjadi tantangan dalam pemasaran.

2. Proses Klorobenzena (*Chlorobenzene Hydrolysis*)

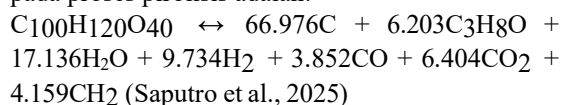
Dalam proses ini, fenol diproduksi melalui reaksi nukleofilik antara klorobenzena dan larutan basa kuat (biasanya NaOH) pada suhu dan tekanan tinggi. Reaksi ini berlangsung dalam kondisi keras karena kekuatan ikatan C–Cl pada cincin aromatik. Reaksi kimia umumnya sebagai berikut:



Meskipun metode ini dapat menghasilkan fenol dengan kemurnian tinggi, kelemahannya terletak pada penggunaan bahan kimia berbahaya seperti klorin dan natrium hidroksida pekat, serta menghasilkan limbah klorida. Proses ini juga kurang ramah lingkungan dan membutuhkan sistem perlindungan korosi yang baik karena kondisi operasional yang agresif.

3. Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia biomassa menjadi berbagai macam produk yang bermanfaat. Teknik pirolisis mengonversikan biomassa menjadi bahan bakar padat (*char*), produk gas (*syngas*), dan *liquid (bio-oil)* tanpa adanya oksigen didalam reaktor. Reaksi yang terjadi pada proses pirolisis adalah:



Berdasarkan ketiga metode pirolisis, *fast pyrolysis* menghasilkan presentase *bio-oil* yang cukup tinggi, namun dengan suhu operasi yang



tidak terlalu tinggi. *Bio-oil* yang dihasilkan banyak mengandung fenol, asam dan ester, alkana, serta *polycyclic aromatic hydrocarbon* (Nury et al., 2022).

Fast pyrolysis merupakan teknologi termokimia yang memecah struktur kompleks biomassa, seperti sekam padi, menjadi *bio-oil*, gas, dan *char* melalui pemanasan cepat tanpa oksigen pada suhu 450–550°C. Dalam rancangan ini digunakan katalis ZSM-5, sejenis zeolit, yang meningkatkan selektivitas pembentukan senyawa aromatik termasuk fenol melalui mekanisme deoksigenasi dan reformasi aromatik. Keunggulan metode ini adalah dapat menggunakan limbah pertanian yang berlimpah, seperti sekam padi, serta mendukung pengembangan industri kimia berkelanjutan. Katalis ZSM-5 secara signifikan mengurangi fraksi oksigenat yang tidak diinginkan dalam *bio-oil* dan meningkatkan stabilitas serta nilai ekonomi produknya. Namun, tantangan utama adalah komposisi produk yang kompleks sehingga memerlukan tahapan pemisahan dan pemurnian lanjutan untuk memperoleh fenol murni. Berikut merupakan perbandingan dari ketiga proses diatas.

2.2 Uraian Proses

Proses pembuatan fenol dengan pirolisis cepat dibagi menjadi 3 tahap yaitu persiapan bahan baku, pirolisis, pemisahan/pemurnian.

1. Tahapan persiapan bahan baku

Limbah sekam padi ditampung dalam silo (F-111) penyimpanan kemudian diangkut menggunakan *belt conveyor* (J-112) dan dipotong menggunakan mesin *disc mill* (C-110) hingga mencapai ukuran kecil (3-5 mm).

Tujuan penghancuran sekam padi menjadi serbuk untuk memperluas permukaan bahan sehingga dapat mempercepat proses reaksi pirolisis. Hasil keluaran dari *disc mill* selanjutnya diumpankan menuju reaktor *fluidized bed* menggunakan *screw conveyor*.

2. Tahapan reaksi pirolisis

Proses pirolisis dalam reaktor *fluidized bed* menggunakan gas nitrogen sebagai media fluidisasi. Gas nitrogen yang didapat dari PT. Cakrabuana Langgeng Sukses ditampung dalam tangki penyimpanan nitrogen (F-121) langsung dialirkan ke dalam reaktor. Adapun udara dialirkan ke centrifuge compressor yang secara selektif memisahkan nitrogen dari oksigen. Setelah dimurnikan, gas nitrogen dialirkan menuju tungku pemanas (Q-120), di mana suhunya dinaikkan hingga mencapai 500°C, sesuai dengan temperatur operasi reaktor. Proses pemanasan ini menggunakan gas alam, serta memanfaatkan *char* (padatan karbon) hasil samping dari proses pirolisis sebelumnya sebagai bahan bakar tambahan untuk

meningkatkan efisiensi energi.

Gas nitrogen yang telah mencapai suhu operasi, kemudian dimasukkan ke dalam bagian bawah reaktor *fluidized bed* (R-210). Di dalam reaktor, gas ini bertindak sebagai fluida pembawa yang memfluidisasi partikel sekam padi, sehingga menciptakan kondisi optimal untuk terjadinya reaksi pirolisis. Pada proses pirolisis ini digunakan katalis ZSM-5 yang ditambahkan ke dalam reaktor untuk meningkatkan selektivitas terhadap produk aromatik, terutama fenol. ZSM-5 sebagai katalis zeolit bekerja dengan memfasilitasi reaksi deoksigenasi, dekarboksilasi, dan dekarbonilasi yang mengubah senyawa-senyawa oksigenat menjadi senyawa aromatik bernilai tinggi. Penggunaan ZSM-5 juga membantu dalam mengurangi kandungan air dan asam dalam *bio-oil* serta meningkatkan stabilitas termal dari produk akhir (Cai et al., 2018). Proses berlangsung pada tekanan atmosferik (1 atm), 450°C, laju pengumpanan 2,5 g/menit, dan laju aliran N₂ 5 L/menit. Reaksi pirolisis ini bersifat endotermis, artinya memerlukan suplai panas secara terus-menerus. Oleh karena itu, reaktor dilengkapi dengan pemanas tambahan berupa coil pemanas untuk menjaga kestabilan suhu selama reaksi berlangsung.

Produk keluaran dari reaktor berupa campuran gas hasil pirolisis dan partikel padat (seperti pasir dari media fluidisasi atau residu padat lainnya). Campuran (Oil 50 %wt, Gas 18% wt, Char 32%wt) Oil ini selanjutnya diarahkan menuju cyclone separator (H-214A), yang berfungsi untuk memisahkan fraksi gas dari padatan (Heo et al., 2010). Proses ini memastikan bahwa produk gas yang diperoleh relatif bersih dari kontaminan padat sebelum memasuki tahap pemrosesan berikutnya.

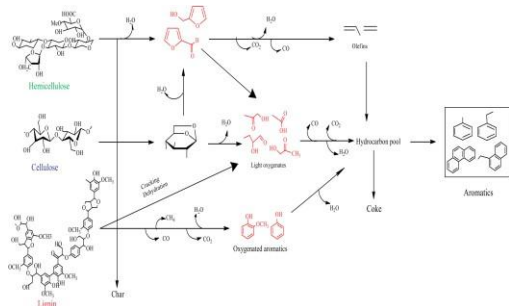
Pada perancangan pabrik ini, digunakan katalis ZSM-5 sebagai komponen utama dalam unit reaktor katalitik sekunder yang berfungsi meningkatkan selektivitas terhadap senyawa aromatik, terutama fenol, dalam produk *bio-oil* hasil pirolisis sekam padi. ZSM-5 dipilih karena memiliki struktur pori yang khas berbentuk saluran 10-cincin, luas permukaan tinggi, serta keaktifan asam yang kuat - semuanya berkontribusi terhadap deoksigenasi dan aromatisasi senyawa hasil pirolisis. Katalis ZSM-

5 yang digunakan merupakan katalis tipe komersial dengan rasio SiO₂/Al₂O₃ sekitar 38–80, disiapkan dalam bentuk pellet atau bubuk, dan diaktivasi melalui proses kalsinasi pada suhu 550°C selama 3 jam. Untuk kebutuhan operasional, katalis ini dioperasikan pada suhu 490–540°C dalam reaktor sekunder dengan rasio umpan terhadap katalis sekitar 100:1 secara berat (Bakar & Titiloye, 2013). Selama proses berlangsung, salah satu tantangan utama terhadap performa katalis adalah



pembentukan kokas (*coke*) di permukaan aktif, yang menyebabkan penurunan aktivitas secara bertahap. Oleh karena itu, sistem operasi dirancang agar memungkinkan dilakukannya regenerasi katalis secara berkala. Regenerasi dilakukan dengan pembakaran kokas melalui oksidasi termal pada suhu 500–600°C, yang mampu mengembalikan sebagian besar aktivitas katalis.

Berdasarkan literatur dan hasil studi sebelumnya, katalis ZSM-5 dapat digunakan ulang secara efektif hingga 10–13 siklus regenerasi sebelum terjadi penurunan aktivitas yang signifikan atau perubahan struktur permanen. Dengan manajemen regenerasi yang baik, umur pakai katalis ZSM-5 dalam pabrik ini diperkirakan mencapai 6–12 bulan operasi kontinu, tergantung pada kondisi aktual pirolisis, kandungan lignin dalam sekam padi, dan waktu tinggal uap pirolisis dalam zona katalitik (Lisa et al., 2023). Dengan demikian, strategi pengoperasian dan regenerasi katalis menjadi bagian penting dalam menjamin keberlanjutan produksi dan efisiensi ekonomi pabrik. Selain itu, penggunaan ZSM-5 secara regeneratif juga mendukung prinsip green process dan efisiensi material dalam industri kimia berbasis biomassa. Untuk memperoleh bio-oil berkualitas tinggi dan mengatasi kekurangan bio-oil yang ada, *catalyst fast pyrolysis* biomassa telah ditemukan sebagai proses konversi termokimia yang menjanjikan. Jalur reaksi untuk pirolisis cepat katalitik menggunakan katalis zeolit diilustrasikan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Jalur reaksi pirolisis cepat katalitik menggunakan katalis zeolit;
Sumber: (Liu et al., 2020)

3. Tahapan Pemisahan/pemurnian

Setelah berhasil dipisahkan dari partikel padat pengotor menggunakan *cyclone*, gas hasil pirolisis sekam padi diarahkan ke *bag filter* (H-214B) untuk menghilangkan partikel halus dan debu, lalu menuju unit pendingin (E-216A). Di dalam cooler, gas panas yang bersuhu sekitar 500°C diturunkan temperaturnya hingga mencapai 350°C menggunakan air sebagai media pendingin. Proses ini bertujuan untuk menurunkan suhu gas sebelum memasuki tahap kondensasi. Gas yang telah mengalami pendinginan awal kemudian dialirkan menuju kondensor pertama (E-216B), yang

menggunakan dewatering sebagai fluida pendingin. Di tahap ini, sebagian besar komponen volatil dalam gas akan mengalami kondensasi membentuk cairan *bio-oil*, yang mengandung senyawa bernilai tinggi seperti fenol, asam organik, aldehid, dan senyawa aromatik lainnya.

Setelah keluar dari kondensor pertama, produk kondensasi tersebut berada pada temperatur yang relatif tinggi. Oleh karena itu, diperlukan proses pendinginan lanjutan menggunakan kondensor kedua (E-216C) hingga suhu diturunkan ke sekitar 50°C pada tekanan atmosferik. Langkah ini memastikan bahwa seluruh fraksi cair telah terkondensasi secara maksimal dan siap untuk tahap pemisahan berikutnya. Cairan hasil kondensasi kemudian diarahkan ke dalam flashdrum (F-310), di mana fase cair (*bio-oil*) dipisahkan dari gas-gas non-kondensabel atau pengotor. Fraksi cair yang dihasilkan dari flash drum ini mengandung campuran fenol dan senyawa organik lainnya. Campuran *bio-oil* kemudian diumpungkan menuju mixer (M-314) yang bertujuan untuk mencampurkannya dengan pelarut berupa metanol 80% dan dialirkan menuju dekanter (D-316), sebuah alat pemisah dua fase (*liquid-liquid*) yang memanfaatkan perbedaan densitas antara fase berat dan fase ringan.

Dalam dekanter, fase ringan (*light phase*) yang berada di bagian atas dan mengandung sebagian besar senyawa terlarut termasuk fenol (45.07 %) dipisahkan dari fase minyak (Cai et al., 2018). Fenol memiliki kelarutan dengan Metanol hingga 98% Fase minyak kemudian disalurkan menuju tangki penyimpanan (F-319) sebagai produk samping berupa *bio-oil*. Sementara itu, fase atas dari dekanter, yang kaya akan fenol dalam metanol, dialirkan ke dalam destilasi (D-410) untuk meningkatkan konsentrasi fenol dengan cara memisahkan fenol dengan pelarut berdasarkan titik didih. Setelah proses destilasi selesai, larutan pekat fenol kemudian dialirkan ke dalam unit pendingin (E-412) (*cooler*) untuk menurunkan suhunya hingga sesuai dengan standar penyimpanan, sebelum akhirnya disalurkan ke tangki produk akhir (F-413) sebagai produk utama berupa fenol.

3. Neraca Massa dan Neraca Energi

Pabrik fenol dirancang beroperasi 330 hari/tahun dengan jam kerja 24 jam dalam sehari. Berdasarkan perhitungan neraca massa, pabrik fenol dari Sekam Padi membutuhkan bahan baku Sekam Padi sebanyak 117.998.730 kg/jam dan menghasilkan fenol sebanyak 3.030 kg/jam. Kebutuhan panas disediakan oleh unit pengadaan steam di utilitas. Steam masuk pada suhu 200°C. Total kebutuhan steam yang diperlukan sebesar 64,53 kg/jam.



4. Utilitas

Utilitas merupakan unit pendukung yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan proses produksi dalam pabrik. Utilitas perlu dirancang sesuai kebutuhan sehingga proses berjalan dengan baik. Berdasarkan kebutuhannya, utilitas pabrik fenol diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Unit pengadaan steam
2. Unit pengolahan air
3. Unit pembangkit tenaga listrik
4. Unit bahan bakar
5. Unit pengolahan limbah

Kebutuhan air sanitasi sebanyak 16,56 m³/hari, kebutuhan air umpan boiler 2,7 m³/hari, kebutuhan air pendingin sebanyak 409,14 m³/hari, dan kebutuhan steam 1,55 m³/hari. Kebutuhan listrik pada pabrik fenol akan disuplai dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berkapasitas 1000 MW. Dengan total kebutuhan daya sebanyak 105,39 kWh/Tahun. Selain itu, akan digunakan suplai daya cadangan dengan menggunakan diesel (generator) untuk mendukung kondisi gangguan pemadaman atau maintenance penyedia listrik utama dengan daya 185 kWh. Bahan bakar yang digunakan berupa minyak diesel dengan total kebutuhan sebesar 15,047 kg/jam.

Setiap proses produksi di pabrik fenol menghasilkan limbah yang harus dikelola untuk mencegah pencemaran lingkungan. Limbah gas berasal dari tiga sumber utama: uap flash drum (F-310) yang mengandung uap air dan gas ringan (CO, CO₂, CH₄, H₂), nitrogen sisa dari sistem fluidisasi yang membawa partikel halus, serta emisi pembakaran solar dari furnace (Q-120) yang mengandung CO₂ dan NO_x. Gas dari flash drum dan nitrogen disaring dengan HEPA filter sebelum dilepas ke atmosfer, sedangkan emisi furnace dikendalikan menggunakan scrubber atau catalytic converter. Limbah cair terutama berasal dari pelarut hasil destilasi (D-410) dan diolah melalui unit Waste Water Treatment (WWT). Proses WWT mencakup kolom ekualisasi (penyeimbang TOC dan suhu), reaktor anaerobik (penguraian senyawa organik), kolom aerasi dengan kontrol DO, klarifier (pemisah padatan), dan thickener (pengering lumpur) sebelum dibakar di insinerator. Sistem ini memastikan limbah cair yang dibuang telah memenuhi standar lingkungan yang berlaku.

5. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi dapat dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui layak atau tidak berdirinya suatu pabrik yang telah dirancang. Beberapa hal yang perlu dilakukan analisis perhitungan dalam evaluasi ekonomi antara lain Total Capital Investment (TCI) atau total modal, Total Production Cost (TPC) atau biaya yang dibutuhkan untuk produksi, Pay Out Time (POT)

atau keuntungan bersih, waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian, Rate of Investment (ROI) atau laju pengembalian modal, dan Break Even Point (BEP). Total Capital Investment (TCI) adalah sejumlah dana yang dibutuhkan dalam mendirikan sebuah pabrik, meliputi Fixed Capital Investment (FCI) dan Working Capital Investment (WCI). Total Production Cost (TPC) adalah sejumlah biaya yang dibutuhkan dalam kegiatan operasional suatu pabrik. Menurut KBBI, keuntungan di definisikan sebagai mendapatkan keuntungan (laba). Lama waktu pengembalian merupakan waktu yang diperlukan suatu pabrik dalam mengembalikan sejumlah modal yang digunakan. Dalam perancangan pabrik ini waktu maksimal yang digunakan yaitu setengah dari umur pabrik (10 tahun). Laju pengembalian modal (ROI) adalah rasio untung dan rugi dari suatu investasi yang dibandingkan dengan jumlah uang yang diinvestasikan.

Nilai ROI harus lebih besar dari pada bunga bank untuk dapat dikatakan pabrik layak didirikan. Bunga bank yang ada pada perhitungan ini adalah 8,4% yang berasal dari Bank BRI. Break Even Point (BEP) adalah kapasitas dimana pabrik tidak mendapatkan keuntungan atau mengalami kerugian atau dengan kata lain hasil penjualan sama dengan ongkos produksi. Nilai BEP harus di antara range 40% s/d 60% untuk dapat dikatakan pabrik layak didirikan. Hasil evaluasi ekonomi pabrik fenol dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 2. Evaluasi Ekonomi Pabrik

Parameter	Nilai	Kesimpulan
Total modal	Rp. 2.883.776.891.542	
Biaya produksi	Rp. 4.857.145.502.211	
POT	1,4 tahun	Layak
ROI	69 %	Layak
BEP	50 %	Layak

6. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan perhitungan, dapat dibuat kesimpulan berikut :

- a. Pabrik fenol berlokasi di Desa Haurkolot, Kecamatan Haurgeulis, Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat.
- b. Bahan baku berupa Sekam Padi yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan produksi pada pabrik ini adalah 117.998.730 kg/jam dengan produk fenol 99,8% sebanyak 3.030 kg/jam.
- c. Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari.
- d. Pabrik fenol dari TKKS dengan kapasitas 24.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan.



The diagram illustrates a complex chemical process involving multiple units and streams. Key components include:

- Feed and Storage:** Feed enters from the left, passing through a filter (F-101) and a pump (P-101) into a storage tank (T-101).
- Reaction and Separation:** The feed is pumped (P-102) into a reactor (R-101). The reactor effluent is pumped (P-103) into a distillation column (D-101). The column has multiple trays and is equipped with reboilers and condensers.
- Heat Recovery:** A heat exchanger (E-101) is used to preheat the feed before it enters the reactor. Another heat exchanger (E-102) is used to cool the reactor effluent before it enters the distillation column.
- Control and Instrumentation:** The process is controlled by a DCS system, with various sensors (S-101 to S-110) and control valves (V-101 to V-110) distributed throughout the system.
- Product and Waste:** The final product is collected in a storage tank (T-102). Waste streams are sent to a wastewater treatment plant (WWTP).

[illegible][illegible]

Gambar 1. *Process Flow Diagram* Pabrik Fenol

Daftar Pustaka

- Aryasta, R. N. & Baking, A. A. R., 2018, "Perancangan Pabrik Bioetanol dari POD Kakao Kapasitas 10.000 Ton/Tahun", skripsi, Universitas Islam Indonesia.
- Badan Pusat Statistik, 2022, "Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia Ekspor 2022", Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik, 2023, "Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia Impor 2022", Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik, 2024, "Statistik Industri Manufaktur Bahan Baku", 11(1), Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik, 2025, "Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2024", Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Baily Jr., J. L., 1945, "Joseph Lister, Father of Modern Surgery", *Bulletin of Friends' Historical Association*, 34(2), 91–92.
- Bakar, M. S. A. & Titiloye, J. O., 2013, "Catalytic Pyrolysis of Rice Husk for Bio-Oil Production", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 103, 362–368.
- BPS Jawa Barat, 2025, "Produksi Padi Menurut Kabupaten/Kota (Ton), 2023–2024", Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat.
- BPS Kabupaten Indramayu, 2024a, "Penduduk Usia Kerja dan Angkatan Kerja di Kabupaten Indramayu", Badan Pusat Statistik Kabupaten Indramayu.
- BPS Kabupaten Indramayu, 2024b, "Partisipasi Angkatan Kerja Menurut Jenis Kelamin di Kabupaten Indramayu", Badan Pusat Statistik Kabupaten Indramayu.
- Cai, W., Liu, R., He, Y., Chai, M. & Cai, J., 2018, "Bio-Oil Production from Fast Pyrolysis of Rice Husk in a Commercial-Scale Plant with a Downdraft Circulating Fluidized Bed Reactor", *Fuel Processing Technology*, 171, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.12.001>
- De Meyer, E., Van Overstraeten, T., Heyse, J., Uddin, M. R., Vanoppen, M., Boon, N., De Gusseme, B., Verbeken, K. & Verliefde, A. R. D., 2019, "Organic Matter and Microbial Cell Density Behavior during Ion Exchange Demineralization of Surface Water for Boiler Feedwater", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(31), 14368–14379.
- Fatimura, M., 2015, "Tinjauan Teoritis Permasalahan Boiler Feed Water pada Pengoperasian Boiler yang Dipergunakan dalam Industri", *Jurnal Media Teknik*, 12(1), 24–32.
- Fu, S., Yan, D., Tao, D., Yang, N., Liu, K., Rong, Y., Li, L. & He, C., 2024, "High Mineralization Efficiency of Chlorobenzene Oxidation Using a Metal-Interaction Strengthening MnCoOx Catalyst Derived from ZIF-67", *Fuel*, 366, 131401. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131401>
- Gardziella, A., Pilato, L. A. & Knop, A., 2013, "Phenolic Resins: Chemistry, Applications, Standardization, Safety and Ecology", Springer Science & Business Media.
- Gideon, S. & Saragih, K. P., 2019, "Analisis Karakteristik Listrik Arus Searah dan Arus Bolak-Balik", *Ready Star*, 2(1), 262–266.
- Heo, H. S., Park, H. J., Dong, J.-I., Park, S. H., Kim, S., Suh, D. J., Suh, Y.-W., Kim, S.-S. & Park, Y.-K., 2010, "Fast Pyrolysis of Rice Husk under Different Reaction Conditions", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16(1), 27–31.
- Iisa, K., Mukarakate, C., French, R. J., Agblevor, F. A., Santosa, D. M., Wang, H., Wilson, A. N., Christensen, E., Griffin, M. B. & Schaidle, J. A., 2023, "From Biomass to Fuel Blendstocks via Catalytic Fast Pyrolysis and Hydrotreating: An Evaluation of Carbon Efficiency and Fuel Properties for Three Pathways", *Energy & Fuels*, 37(24), 19653–19663.
- Jenkins, R. W., Sutton, A. D. & Robichaud, D. J., 2016, "Pyrolysis of Biomass for Aviation Fuel", dalam *Biofuels for Aviation: Feedstocks, Technology and Implementation*, Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804568-8.00008-1>
- Kumar, S., Sangwan, P., Dhankhar, R. M. V. & Bidra, S., 2013, "Utilization of Rice Husk and Their Ash: A Review", *Research Journal of Chemistry and Environment*, 1(5), 126–129.
- Liu, R., Rahman, M. M., Sarker, M., Chai, M., Li, C. & Cai, J., 2020, "A Review on the Catalytic Pyrolysis of Biomass for the Bio-Oil Production with ZSM-5: Focus on Structure", *Fuel Processing Technology*, 199, 106301.
- Louillat-Habermeyer, M., Jin, R. & Patureau, F. W., 2015, "O₂-Mediated Dehydrogenative Amination of Phenols", *Angewandte Chemie International Edition*, 54(13), 4102–4104.
- Mancuso, A., Sacco, O., Sannino, D., Venditto, V. & Vaiano, V., 2020, "One-Step Catalytic or Photocatalytic Oxidation of Benzene to Phenol: Possible Alternative Routes for Phenol Synthesis?", *Catalysts*, 10(12), 1424.
- Mostafazadeh, A. K., Solomatnikova, O., Drogui, P. & Tyagi, R. D., 2018, "A Review of Recent Research and Developments in Fast Pyrolysis and Bio-Oil Upgrading", *Biomass Conversion and Biorefinery*, 8, 739–773.



- Nurlia, 2019, “Pengaruh Struktur Organisasi terhadap Pengukuran Kualitas Pelayanan”, *Meraja Journal*, 2(2), 51–66.
- Nury, D. F., Luthfi, M. Z. & Zullaikah, S., 2022, “Pengaruh Kondisi Temperatur Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Komposisi Produk Tar”, *REACTOR: Journal of Research on Chemistry and Engineering*, 3(1), 22–27.
- Pujotomo, I., 2017, “Potensi Pemanfaatan Biomassa Sekam Padi untuk Pembangkit Listrik melalui Teknologi Gasifikasi”, *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 1–23.
- Putra, K. T., 2019, “Optimasi Desain Kombinasi Distilasi Biasa dan Dividing Wall Column secara Bertahap untuk Memurnikan Fenol dari Proses Cumene”.
- Rahma, A. S. & Ritonga, B. A., t.t., “Aplikasi pada Fenol dan Dampaknya terhadap Kesehatan Manusia dan Lingkungan”.
- Royhan, M., 2021, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel 2 MW”, *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, 4(1), 45.
- Saputro, E. A., Alias, A. B., Nurherdiana, S. D., Saraswati, R., Ariyanti, D., Redina, E. R. P. & Awardani, N. F., 2025, “Analysis of Phenol Production Technology from the Waste of Empty Palm Oil Bunches: A Review of Methods and Process Efficiency”, *E3S Web of Conferences*, 605.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560503045>
- Sinaga, N. A., 2018, “Hal-Hal Pokok Pendirian Perseroan Terbatas di Indonesia”, *Jurnal Ilmiah Hukum Dirgantara*, 8(2).
<https://doi.org/10.35968/jh.v8i2.253>
- Smith, J. M., Van Ness, H. C. & Abbott, M. M., 2001, “Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics”, edisi ke-6, McGraw-Hill Book Company.
- Tambun, R., Limbong, H. P., Pinem, C. & Manurung, E., 2016, “Pengaruh Ukuran Partikel, Waktu dan Suhu pada Ekstraksi Fenol dari Lengkuas Merah”, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(4).
- Wijayanti, H., Ratnasari, D. & Hakim, R., 2020, “Studi Kinetika Pirolisis Sekam Padi untuk Menghasilkan Bio-Oil sebagai Energi Alternatif”, *Buletin Profesi Insinyur*, 3(2), 83–88.
- Zakoshansky, V. M., 2007, “The Cumene Process for Phenol-Acetone Production”, *Petroleum Chemistry*, 47(4), 273–284.
<https://doi.org/10.1134/S096554410704007X>

