

Pemilihan Alternatif Bahan Baku dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk Minimasi Biaya Produksi Pupuk Phosgreen

Iksan Hariyanto*, Erma Suryani

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: iksanhariyanto@gmail.com*, erma.suryani@gmail.com

Kata Kunci	Abstrak
bahan baku alternatif, fosfat, pupuk Phosgreen, AHP, efisiensi operasional	PT Petrokimia Gresik menghadapi tantangan tingginya biaya produksi pupuk Phosgreen pasca pencabutan subsidi pupuk SP-36, dengan kontribusi biaya bahan baku mencapai 85,91% dari total Harga Pokok Produksi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pemilihan alternatif bahan baku fosfat untuk meminimasi biaya produksi menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Data diperoleh melalui survei pendahuluan, diskusi kelompok terarah, dan kuesioner perbandingan berpasangan yang melibatkan unit proses, pengadaan, dan pengendalian kualitas. Parameter yang dianalisis meliputi harga bahan baku, biaya pengiriman dan handling, karakteristik kimia (kandungan P_2O_5 dan impuritas), fleksibilitas operasional, serta dampak lingkungan. Seluruh matriks perbandingan memenuhi persyaratan konsistensi dengan Consistency Ratio (CR) $\leq 0,1$. Hasil analisis menunjukkan kriteria biaya memiliki tingkat kepentingan tertinggi, diikuti kualitas dan ketersediaan pasokan. Sintesis bobot global menempatkan ROP Sludge sebagai alternatif prioritas tertinggi, diikuti Rock Phosphate Mesir, Rock Phosphate Jordan, dan Phosphate Rock Lokal. ROP Sludge unggul secara teknis karena kompatibel dengan sistem proses eksisting tanpa modifikasi peralatan utama, serta mampu menurunkan biaya produksi dari 270 USD/ton menjadi 153 USD/ton atau sekitar 43%. Analisis sensitivitas menunjukkan hasil pemeringkatan stabil dan robust terhadap perubahan bobot kriteria dalam rentang moderat. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pemanfaatan ROP Sludge merupakan alternatif paling layak secara teknis dan ekonomis untuk meningkatkan efisiensi biaya dan keberlanjutan operasional produksi pupuk Phosgreen, sekaligus memberikan dasar kuantitatif bagi pengambilan keputusan strategis pengadaan bahan baku fosfat di industri pupuk.
Keywords	Abstract
alternative raw material, phosphate, Phosgreen fertilizer, AHP, operational efficiency	PT Petrokimia Gresik faces the challenge of high production costs of Phosgreen fertilizer after the revocation of the SP-36 fertilizer subsidy, with the contribution of raw material costs reaching 85.91% of the total Cost of Production. This study aims to analyze the selection of alternative phosphate raw materials to minimize production costs using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. Data were obtained through preliminary surveys, focus group discussions, and paired comparison questionnaires involving process, procurement, and quality control units. The parameters analyzed included raw material prices, shipping and handling costs, chemical characteristics (P_2O_5 content and impurity), operational flexibility, and environmental impact. All comparison matrices meet the consistency requirements with a Consistency Ratio (CR) of ≤ 0.1 . The results of the analysis showed that the cost criteria had the highest level of importance, followed by the quality and availability of supply. Global weight synthesis places ROP Sludge as the highest priority alternative, followed by Egyptian Rock Phosphate, Jordan Rock Phosphate and Local Phosphate Rock. ROP Sludge is technically superior because it is compatible with existing process systems without modification of main equipment, and is able to reduce production costs from 270 USD/ton to 153 USD/ton or about 43%. Sensitivity analysis showed stable and robust ranking results to changes in criterion weights in the moderate range. This study concludes that the use of Sludge ROP is the most technically and economically

feasible alternative to improve the cost efficiency and operational sustainability of Phosgreen fertilizer production, as well as providing a quantitative basis for strategic decision-making in the procurement of phosphate raw materials in the fertilizer industry.



PENDAHULUAN

PT Petrokimia Gresik merupakan salah satu perusahaan petrokimia di Indonesia yang memproduksi pupuk dan non-pupuk. Perusahaan ini memiliki tiga departemen produksi, yaitu Departemen Produksi I yang memproduksi pupuk Urea dan ZA, Departemen Produksi II yang memproduksi pupuk SP-36 dan Phonska, serta Departemen Produksi III yang memproduksi Asam Sulfat, Asam Fosfat, Amoniak, Dry Ice, Aluminium Florida, dan Cement Retarder. Pabrik Pupuk Fosfat I yang berlokasi di Departemen Produksi II saat ini berkapasitas 1.370 ton per hari dalam memproduksi pupuk SP-36.

Harga Pokok Produksi pupuk sangat menjadi perhatian bagi para produsen pupuk karena berpengaruh pada harga penjualan pupuk. Semakin tinggi biaya operasional pabrik, maka harga pupuk juga akan menjadi semakin mahal. Berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 49 Tahun 2020 tentang Alokasi dan Harga Eceran Tertinggi Pupuk Bersubsidi Sektor Pertanian, harga tertinggi pupuk SP-36 adalah sebesar Rp2.400 per kg. Para produsen pupuk harus menyesuaikan kebutuhan produksi seefisien mungkin agar dapat melakukan produksi pupuk yang memiliki harga menyesuaikan dengan peraturan Menteri tersebut. Harga yang dikeluarkan oleh Kementerian Pertanian ini menjadi dasar bagi para produsen pupuk untuk dapat menentukan harga jual pupuk (Kementan, 2020).

Produksi pupuk dalam negeri menunjukkan tren yang cenderung meningkat dari tahun ke tahun, sehingga penyediaan pupuk yang tepat perlu didukung oleh informasi kebutuhan yang akurat melalui proyeksi permintaan di masa depan guna menjamin pencapaian swasembada pangan berkelanjutan. Berdasarkan data penyerapan konsumsi dan produksi pupuk tahun 2014–2021, diketahui bahwa kebutuhan pupuk SP-36 meskipun mengalami tren penurunan sejak tahun 2018 akibat isu pencabutan subsidi, masih tergolong cukup tinggi hingga tahun 2021 dengan volume 402.701 ton, yang menunjukkan bahwa pupuk SP-36 tetap dibutuhkan oleh petani, khususnya pada sektor pangan, hortikultura, dan perkebunan (Akshay et al., 2018).

Sejak 10 tahun terakhir, pemerintah telah memunculkan isu terkait pencabutan subsidi terhadap pupuk bersubsidi. Hal ini dikarenakan pemerintah menilai subsidi yang diberikan pemerintah dalam meringankan beban petani dinilai kurang terserap secara maksimal. Di samping itu pemerintah juga menuntut dewasa ini Badan Usaha Milik Pemerintah (BUMN) untuk bisa mandiri secara finansial ditengah era persaingan global yang ketat. Pada bulan Juli tahun 2022, pemerintah mengeluarkan Peraturan Menteri Pertanian nomor 10 tahun 2022 tentang Tata Cara Penetapan Alokasi dan Harga Eceran Tertinggi Pupuk Bersubsidi Sektor Pertanian. Dalam Permentan ini telah diatur dan ditetapkan jenis pupuk yang diberi subsidi beserta Harga Eceran Tertinggi nya. Permentan nomor 10 tahun 2022 ini merevisi Permentan

nomor 49 tahun 2020 dimana subsidi dari yang awalnya diberikan pada jenis pupuk Urea, ZA, SP-36, NPK, dan pupuk Organik (Kementan, 2022).

Dalam rangka menindaklanjuti terbitnya SK Permetan No. 10 Tahun 2022 terkait Penghapusan Alokasi Subsidi Pupuk SP-36, ZA, dan Petroganik pada pertengahan 2022 dan berdasarkan perhitungan realisasi Laporan Keuangan Tahun 2021 penghapusan alokasi subsidi pupuk SP-36 sub, Petroganik, ZA dan Phonska Oca berdampak pada turunnya total penjualan pupuk subsidi sebesar Rp 5,3 Triliun atau 25% dari total penjualan subsidi sebesar Rp 20,9 Triliun dan turunnya potensial loss profit sebesar Rp 326 M atau 29% dari total laba pupuk subsidi sebesar 1,13 Triliun sehingga perlu dilakukan upaya antisipatif untuk menekan dampak operasional dan finansial atas kebijakan tersebut.

Pabrik Pupuk Fosfat yang memproduksi pupuk SP-36 subsidi merupakan salah satu yang terdampak dari pencabutan alokasi subsidi tersebut. Dengan dicabutnya subsidi SP-36, maka pabrik Pupuk Fosfat tidak bisa beroperasi lagi karena pupuk SP-36 merupakan produk utama dari pabrik Pupuk Fosfat I. Apabila pabrik Pupuk Fosfat I tidak beroperasi maka akan menyebabkan kerugian fix cost sebesar 4,7 milyar per bulan atau 56,4 milyar per tahun. Dampak lain yang ditimbulkan yaitu hilangnya potensial profit sebesar 326 milyar per tahun. Beberapa dampak ini perlu dicari alternatif solusi agar kerugian dan potensi kerugian tersebut bisa dihilangkan.

Produksi pupuk SP-36 memiliki Harga Pokok Produksi (HPP) yang tinggi. Dengan dicabutnya subsidi pada pupuk SP-36 menyebabkan harga jual pupuk tersebut mahal dan imbasnya petani dan konsumen menjadi enggan untuk membeli. HPP yang mahal disebabkan karena bahan baku dari pembuatan pupuk SP-36 yang mahal. Pencabutan subsidi ini sebenarnya menjadi tantangan sekaligus peluang bagi PT Petrokimia Gresik. Pabrik Pupuk Fosfat pada dasarnya sudah tidak mampu menjual pupuk SP-36 subsidi lagi. Sehingga pabrik Pupuk Fosfat (PF) harus melakukan transformasi bisnis supaya pabrik tetap menjadi asset lancar perusahaan.

Salah satu ide transformasi yang dilakukan supaya pabrik Pupuk Fosfat (PF) dapat beroperasi adalah memproduksi pupuk yang mengandung fosfat lebih rendah sehingga Harga Pokok Produksi (HPP) dapat ditekan serendah mungkin. Alternatif produk yang dapat diproduksi adalah pupuk Phosgreen. Pupuk Phosgreen adalah pupuk berbasis fosfat yang memiliki kadar $P_2O_5\%$ yang lebih rendah dari SP-36. Dengan rendahnya kadar $P_2O_5\%$ dalam produk phosgreen diharapkan biaya bahan baku dapat diminimalkan. Dari data diketahui bahwa pupuk phosgreen dari sisi kandungan P_2O_5 sebesar 20%, sedangkan pupuk SP-36 memiliki kandungan P_2O_5 sebesar 36%. Semakin besar kandungan P_2O_5 maka lebih banyak membutuhkan bahan baku Run Of Pile (ROP). Harga Pokok Produksi (HPP) yang tinggi disebabkan karena bahan baku pupuk SP-36 yaitu ROP (Run of Pile) memiliki harga beli yang mahal.

Manajemen PT Petrokimia Gresik mengharapkan dengan dicabutnya subsidi pupuk SP-36, pupuk phosgreen dapat muncul sebagai solusi supaya pabrik pupuk fosfat dapat diutilisasi lebih lanjut dan tetap beroperasi untuk meningkatkan produktivitas perusahaan. Pupuk phosgreen ini telah diproduksi baik skala percobaan maupun skala komersil dan sudah dilakukan Demonstrasi Plot (Demplot) yaitu mencoba efektifitas penggunaan pupuk terhadap pertumbuhan dan produktivitas pertanian. Dari hasil Demplot, pupuk phosgreen pada dasarnya dapat membantu pertumbuhan tanaman dengan hasil yang sedikit di bawah pupuk SP-36.

Pada dasarnya pupuk Phosgreen memiliki visibilitas yang baik dalam melakukan penetrasi di pasar dikarenakan memiliki harga yang lebih murah dan memiliki kualitas yang tidak terlalu jauh dibanding pupuk SP-36. Namun yang menjadi kendala saat ini adalah Harga Pokok Produksi (HPP) pupuk phosgreen dinilai masih terlalu mahal. Harga Pokok Produksi (HPP) pupuk phosgreen terdiri dari beberapa komponen biaya seperti biaya bahan baku, biaya bahan pembantu, beban gaji & kesejahteraan, beban jasa dan sewa, beban pajak dan asuransi, beban pemeliharaan & suku cadang, dan lain-lain.

Pada data menunjukan komponen biaya penyusun HPP pupuk Phosgreen. Diketahui bahwa bahan baku phosgreen menyumbang sebesar 270 USD (\$) tertinggi dibanding komponen biaya lainnya. Biaya bahan baku menyumbang 85,91% dari keseluruhan komponen biaya penyusun HPP pupuk Phosgreen. Bahan baku pupuk phosgreen tersebut terdiri dari material yang didapat baik dari dalam dan luar negeri. Bintang (2016) mengungkapkan bahwa Perhitungan harga pokok produksi adalah untuk mengetahui besarnya biaya produksi yang dikeluarkan dalam memproduksi suatu barang. Pada umumnya biaya produksi tersebut meliputi biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, dan biaya overhead pabrik. Dari biaya tersebut biaya, Bintang (2016) mengungkapkan bahwa Biaya bahan baku adalah bahan yang merupakan unsur paling pokok dalam proses produksi, dan dapat langsung dibebankan kepada harga pokok barang yang diproduksi. Sehingga dari sini, melakukan efisiensi pada bahan baku akan sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari total Harga Pokok Produksi (HPP).

Bahan baku yang dinilai sangat mahal adalah bahan baku yang menjadi sumber unsur “P” atau unsur phosphate yaitu ROP. ROP sendiri memiliki harga 263 USD/ton atau sebesar 97,66% dibanding dengan harga bahan baku lainnya seperti dolomit, gypsum, dan clay. Harga ini dinilai sangat mahal jika dibandingkan dengan harga bahan baku lain yang cenderung murah yaitu dolomit hanya sebesar 24,67 USD/ ton , gypsum sebesar 5,85 USD/ton dan clay yang hanya sebesar 25,04 USD/ ton.

Run of Pile (ROP) tersebut merupakan bahan baku utama pupuk SP-36 yang merupakan bahan yang didapat dengan mereaksikan asam fosfat, asam sulfat, dan Rock Phosphate. ROP tersebut di produksi sendiri oleh PT Petrokimia Gresik dan tidak dapat dibeli di tempat lain. Manajemen PT Petrokimia Gresik menyampaikan dalam beberapa forum diskusi dan melalui surat arahan direksi bahwa phosgreen harus mampu bersaing di pasar dengan harga yang murah. Karyawan dari departemen terkait dituntut untuk berinovasi melakukan uji coba dan kajian terhadap penggunaan bahan baku pupuk Phosgreen selain ROP. Karena ROP dinilai menjadi penyebab utama dari mahalnya Harga Pokok Produksi (HPP) pupuk phosgreen.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pemilihan bahan baku menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) di berbagai sektor industri. Penelitian oleh Kriswardhana (2025) menerapkan AHP untuk evaluasi pemasok bahan baku di industri manufaktur dengan mempertimbangkan kriteria harga, kualitas, dan ketepatan waktu pengiriman. Studi oleh Chen dkk. (2020) mengembangkan model pengambilan keputusan multi-kriteria untuk seleksi bahan baku di industri kimia dengan fokus pada aspek teknis dan ekonomis. Sementara itu, penelitian oleh Saleem dkk. (2017) mengintegrasikan AHP dengan analisis sensitivitas untuk mengevaluasi alternatif bahan baku di sektor energi. Namun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya berfokus pada konteks industri manufaktur umum dan belum secara spesifik mengkaji pemilihan bahan baku alternatif di industri pupuk

fosfat, khususnya dalam konteks substitusi bahan baku utama pasca perubahan kebijakan subsidi pemerintah yang berdampak pada kelangsungan operasional pabrik.

Dalam kajian internal yang telah dilakukan, telah ditemukan beberapa alternatif bahan baku yang dapat digunakan dalam mengganti ROP sebagai bahan baku utama pupuk Phosgreen. Namun beberapa bahan baku alternatif tersebut belum dilakukan kajian terhadap harga, kualitas, dan pengaruhnya terhadap efektifitas operasional pabrik. Berangkat dari fakta dan data dari beberapa permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu kajian dan analisa yang berujung memilih dan menentukan bahan baku terbaik yang dapat digunakan untuk mengganti ROP sebagai bahan baku utama pupuk phosgreen sehingga Harga Pokok Produksi (HPP) phosgreen dapat ditekan serendah mungkin dan pupuk phosgreen dapat laku dan bersaing dengan produk kompetitor. Untuk memilih beberapa alternatif bahan baku yang ada dapat digunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) yang bertujuan untuk memilih bahan baku terbaik yang dinilai dari berbagai aspek sehingga dapat diperoleh bahan baku yang terbaik sebagai pengganti untuk menurunkan Harga Pokok Produksi (HPP) pupuk phosgreen.

Penelitian ini dirumuskan untuk menjawab permasalahan terkait tingginya biaya produksi pupuk Phosgreen, khususnya dalam menentukan cara meminimasi biaya tersebut melalui identifikasi alternatif bahan baku yang dapat menggantikan Run of Pile (ROP) sebagai bahan baku utama serta mengevaluasi apakah alternatif tersebut efektif menurunkan biaya produksi. Tujuan penelitian ini adalah menentukan strategi penurunan biaya produksi, menemukan bahan baku alternatif pengganti ROP, dan mengidentifikasi pengaruh penggunaannya terhadap efisiensi biaya. Manfaat penelitian diharapkan dapat membantu praktisi dalam mengambil keputusan pengadaan bahan baku yang lebih ekonomis sehingga harga pupuk Phosgreen lebih terjangkau, serta memberikan kontribusi akademik dalam pengembangan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk pemilihan bahan baku optimal. Penelitian ini dibatasi pada Pabrik Pupuk Fosfat PT Petrokimia Gresik dengan fokus biaya produksi tahun 2022, menggunakan bahan baku alternatif yang terdaftar di perusahaan, serta diasumsikan bahwa sistem peralatan proses tidak berubah dan bahan baku memiliki kualitas serta harga yang relatif sama.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus di Pabrik Pupuk Fosfat PT Petrokimia Gresik. Penelitian difokuskan pada pemilihan bahan baku alternatif pupuk Phosgreen dalam rangka meminimasi biaya produksi dengan tetap mempertahankan kualitas produk dan keberlanjutan operasional. Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan multikriteria karena mampu mengakomodasi pertimbangan teknis, ekonomis, operasional, dan lingkungan secara terstruktur dan sistematis. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pihak yang terlibat dalam proses produksi, pengadaan, pengendalian kualitas, perencanaan, dan pengelolaan bahan baku di Pabrik Pupuk Fosfat PT Petrokimia Gresik. Sampel ditentukan secara purposive sampling, yaitu melalui tim Focus Group Discussion (FGD) yang terdiri dari pejabat struktural dan praktisi operasional yang memiliki kompetensi serta pengalaman langsung dalam pengelolaan bahan baku dan proses produksi pupuk Phosgreen, seperti Assistant Vice President (AVP), Junior Assistant Vice President (JAVP), supervisor, serta staf dari bidang evaluasi

proses, perencanaan produksi, pergudangan, akuntansi biaya, pengadaan, perencanaan pengadaan, investasi rutin, dan lingkungan.

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa metode, yaitu studi dokumentasi terhadap laporan produksi, data biaya bahan baku dan bahan penolong, data alternatif bahan baku, hasil uji laboratorium, serta data spesifikasi teknis bahan baku. Selain itu, dilakukan observasi langsung ke lapangan dan wawancara dengan pihak terkait untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai proses operasional dan kendala yang dihadapi. Data primer diperoleh melalui penyebaran kuesioner perbandingan berpasangan dan skala penilaian kepada tim FGD guna memperoleh bobot kriteria, subkriteria, serta penilaian alternatif bahan baku sesuai dengan metode AHP. Analisis data dilakukan menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) melalui beberapa tahapan, yaitu penyusunan struktur hierarki keputusan yang terdiri dari tujuan, kriteria, subkriteria, dan alternatif bahan baku, penyusunan matriks perbandingan berpasangan, perhitungan bobot prioritas, serta pengujian konsistensi penilaian menggunakan Consistency Ratio (CR) dengan batas maksimal 10%. Selanjutnya dilakukan sintesis bobot untuk menentukan peringkat alternatif bahan baku terbaik. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan dan divalidasi melalui diskusi FGD untuk memastikan kesesuaian hasil dengan kondisi teknis dan operasional di lapangan sebelum ditarik kesimpulan dan rekomendasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Hasil Pembobotan Kriteria dan Sub Kriteria

Proses pembobotan kriteria dan sub-kriteria dalam penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor dominan yang paling memengaruhi keputusan pemilihan bahan baku alternatif pada proses produksi pupuk Phosgreen.

Tahapan ini merupakan bagian inti dari metode Analytical Hierarchy Process (AHP), di mana setiap elemen dalam hierarki diuji tingkat kepentingannya secara sistematis melalui pairwise comparison berdasarkan persepsi dan pengalaman para ahli di bidang pengadaan dan produksi.

Hasil pembobotan tidak hanya menggambarkan urutan prioritas antar kriteria, tetapi juga memberikan informasi strategis mengenai bagaimana perusahaan menyeimbangkan pertimbangan ekonomi, teknis, dan keberlanjutan lingkungan dalam proses pengambilan keputusan. Dengan demikian, analisis pembobotan ini berfungsi untuk menghubungkan model konseptual yang telah dibangun pada Bagian 5.1 dengan realitas keputusan operasional di lapangan.

Dalam konteks pengadaan bahan baku industri kimia, proses pembobotan ini memiliki dua fungsi utama:

1. Fungsi analitis, yaitu menentukan tingkat pengaruh relatif antar kriteria untuk memudahkan penyusunan prioritas keputusan.
2. Fungsi diagnostik, yaitu mengidentifikasi potensi ketidakseimbangan atau bias dalam penilaian yang dapat memengaruhi stabilitas keputusan perusahaan.

Hasil pembobotan menunjukkan bahwa proses pengambilan keputusan di PT Petrokimia Gresik masih didominasi oleh orientasi efisiensi biaya dan mutu produk, namun terdapat kecenderungan awal menuju integrasi aspek keberlanjutan lingkungan. Kondisi ini menandakan bahwa perusahaan mulai menggeser paradigma pengadaan dari cost-driven

decision menuju value-driven decision, sejalan dengan arah pengembangan green manufacturing policy di sektor industri pupuk nasional (Kementerian Perindustrian, 2024).

1. Kriteria

Analisis hasil pembobotan pada tingkat kriteria utama menunjukkan bahwa proses pengambilan keputusan dalam pemilihan bahan baku alternatif untuk produksi pupuk Phosgreen di PT Petrokimia Gresik melibatkan lima dimensi utama, yaitu biaya (cost), kualitas (quality), ketersediaan (availability), kemudahan pengolahan (processability), dan lingkungan (environment). Kelima kriteria ini membentuk kerangka dasar yang merepresentasikan keseimbangan antara efisiensi ekonomi, kinerja teknis, dan komitmen keberlanjutan.

Berikut penjelasan analitis untuk masing-masing kriteria.

- a. Biaya (Cost): Kriteria biaya menempati bobot tertinggi dalam struktur hierarki keputusan, menunjukkan bahwa efisiensi ekonomi masih menjadi determinan utama dalam strategi pengadaan bahan baku perusahaan. Faktor ini meliputi harga per ton, biaya transportasi dan penanganan, serta stabilitas harga jangka panjang. Dalam industri pupuk fosfat, struktur biaya bahan baku memiliki kontribusi dominan terhadap total production cost, sehingga pengendalian biaya input menjadi kunci untuk mempertahankan daya saing di pasar yang diatur pemerintah. Secara teoritis, dominasi faktor biaya selaras dengan konsep cost leadership dari Porter (1998), di mana efisiensi biaya digunakan sebagai sumber keunggulan kompetitif. Penerapan metode AHP dalam konteks ini memungkinkan identifikasi sensitivitas keputusan terhadap variasi biaya bahan baku, sehingga mendukung keputusan yang rasional dan terukur. Korelasi antara biaya dan ketersediaan juga menunjukkan bahwa stabilitas pasokan lokal dapat secara langsung menurunkan beban logistik dan ketergantungan impor. Dengan demikian, prioritas tinggi pada biaya merupakan refleksi dari orientasi efisiensi jangka pendek yang tetap berada dalam kerangka keberlanjutan ekonomi jangka panjang.
- b. Kualitas (Quality): Kriteria kualitas berada di posisi kedua setelah biaya, menandakan bahwa mutu bahan baku tetap menjadi komponen strategis yang tak terpisahkan dari efisiensi produksi. Kualitas bahan baku, terutama kandungan P_2O_5 , kemurnian, dan homogenitas, secara langsung memengaruhi efisiensi reaksi kimia dalam proses pembuatan pupuk Phosgreen. Bahan dengan tingkat kemurnian rendah menyebabkan peningkatan konsumsi energi dan pembentukan limbah yang lebih besar, sehingga menimbulkan biaya tidak langsung. Secara akademis, kondisi ini menunjukkan adanya hubungan kausal antara kualitas dan biaya. Investasi pada bahan baku berkualitas tinggi berpotensi menurunkan biaya operasional melalui peningkatan yield dan efisiensi energi. Hasil ini sejalan dengan pandangan Saaty (1980) bahwa dalam AHP, elemen yang bersifat teknis (seperti kualitas) dapat berfungsi sebagai leverage factor dalam keputusan ekonomi. Dengan demikian, posisi kriteria kualitas di bawah biaya tidak menandakan subordinasi, tetapi fungsi penguatan terhadap efisiensi total sistem produksi.
- c. Ketersediaan (Availability): Kriteria ketersediaan menempati posisi menengah, menunjukkan bahwa perusahaan telah menyeimbangkan pertimbangan biaya dan kualitas dengan stabilitas pasokan. Kontinuitas suplai bahan baku menjadi faktor krusial dalam menjaga kapasitas produksi dan menghindari risiko stockout yang dapat mengganggu rantai pasok. Hasil pembobotan memperlihatkan bahwa pasokan bahan lokal seperti Run of Pile (ROP) memiliki keunggulan logistik dibanding bahan impor seperti Gypsum yang

dipengaruhi volatilitas harga global dan keterlambatan pengiriman. Secara teoritis, posisi ini konsisten dengan model Supply Chain Resilience yang dikemukakan oleh Christopher dan Peck (2004), di mana stabilitas pasokan menjadi faktor mitigasi risiko dalam industri dengan tingkat ketergantungan bahan tinggi. Namun, fakta bahwa bobot ketersediaan tidak mendominasi struktur keputusan menunjukkan bahwa orientasi pengadaan masih reaktif terhadap dinamika pasokan, bukan proaktif dalam membangun strategi keberlanjutan rantai pasok. Artinya, kriteria ini berfungsi sebagai penyeimbang struktural antara efisiensi biaya dan keandalan operasional.

- d. Kemudahan Pengolahan (Processability): Kriteria kemudahan pengolahan memiliki bobot lebih rendah dibanding tiga kriteria sebelumnya, namun tetap memainkan peran penting dalam menjamin konsistensi kualitas produksi. Faktor ini meliputi bentuk fisik bahan, kebutuhan penyesuaian proses, dan stabilitas penyimpanan. Nilai bobot yang relatif kecil menandakan bahwa perusahaan telah memiliki teknologi proses yang mapan dan fleksibel terhadap variasi karakteristik bahan baku. Artinya, variasi input tidak menyebabkan penurunan performa signifikan pada lini produksi. Dari perspektif teoritis, hasil ini menunjukkan tingkat maturity process yang tinggi dalam sistem produksi perusahaan. Kondisi ini mendukung konsep process capability yang dikemukakan oleh Montgomery (2019), bahwa sistem produksi yang stabil dapat mengurangi sensitivitas terhadap variasi input, sehingga kemudahan pengolahan tidak lagi menjadi faktor pembeda dominan. Dengan demikian, bobot rendah pada kriteria ini tidak mencerminkan ketidakpentingan, tetapi justru menandakan kemampuan adaptasi teknologi yang tinggi dalam sistem manufaktur.
- e. Lingkungan (Environment): Kriteria lingkungan menempati bobot terendah dalam struktur hierarki, namun secara konseptual memiliki makna strategis yang signifikan. Faktor ini mencakup pengelolaan limbah, tingkat emisi karbon, dan pemanfaatan hasil samping produksi. Meskipun kontribusinya kecil secara numerik, keberadaannya dalam model menunjukkan bahwa perusahaan mulai mengintegrasikan prinsip keberlanjutan (sustainability) dalam keputusan pengadaan. Secara akademis, posisi kriteria lingkungan sebagai prioritas rendah dapat dijelaskan melalui fase adopsi awal konsep green procurement, di mana perusahaan masih fokus pada dimensi ekonomi sebelum beralih ke paradigma keberlanjutan penuh (UNIDO, 2024). Namun, arah kebijakan ini selaras dengan program nasional Industri Hijau Berkelanjutan 2030 yang mendorong penerapan sistem pengadaan berbasis emisi rendah. Dengan demikian, meskipun secara kuantitatif bobotnya kecil, kriteria lingkungan berfungsi sebagai indikator evolusi strategi perusahaan menuju integrasi efisiensi dan tanggung jawab ekologis.

2. Sub-Kriteria

Analisis hasil pembobotan pada tingkat sub-kriteria bertujuan untuk menelusuri faktor-faktor spesifik yang berkontribusi langsung terhadap pembentukan prioritas pada setiap kriteria utama. Pendekatan ini penting untuk memahami dimensi teknis dan operasional yang menjadi dasar penilaian dalam pemilihan bahan baku alternatif bagi produksi pupuk Phosgreen.

Melalui analisis ini, hubungan antara kriteria makro dan faktor mikro dapat dijelaskan secara lebih terukur, sehingga keputusan pengadaan tidak hanya didasarkan pada pertimbangan manajerial, tetapi juga pada indikator teknis yang terverifikasi.

- a. Sub-Kriteria pada Kriteria Biaya (Cost): Tiga faktor yang menjadi dasar penilaian dalam kriteria biaya meliputi harga per ton, biaya transportasi dan penanganan, serta stabilitas harga. Hasil pembobotan menunjukkan bahwa harga per ton merupakan sub-kriteria paling dominan. Hal ini mencerminkan kondisi ekonomi perusahaan yang berfokus pada efisiensi langsung dari komponen biaya bahan baku utama. Dalam industri pupuk, fluktuasi harga bahan baku memiliki pengaruh linier terhadap margin keuntungan. Oleh karena itu, penentuan harga dasar yang kompetitif menjadi prioritas utama.
Sub-kriteria kedua adalah biaya transportasi dan penanganan, yang memiliki pengaruh signifikan terhadap total biaya logistik. Nilai bobotnya menggambarkan pentingnya kedekatan geografis sumber bahan baku terhadap lokasi produksi, karena pengiriman bahan berat seperti fosfat memiliki rasio biaya logistik yang tinggi terhadap harga jual akhir. Faktor ketiga, stabilitas harga, menunjukkan pengaruh lebih rendah dibanding dua sebelumnya, namun tetap menjadi indikator penting dalam manajemen risiko jangka panjang. Kombinasi ketiga faktor ini menunjukkan bahwa struktur biaya perusahaan masih berorientasi pada strategi efisiensi operasional berbasis lokasi dan volume, selaras dengan konsep total landed cost dalam teori logistik industri (Lambert, 2019).
- b. Sub-Kriteria pada Kriteria Kualitas (Quality): Sub-kriteria pada dimensi kualitas terdiri dari kandungan P_2O_5 , tingkat impuritas (kemurnian), dan homogenitas bahan. Dari ketiganya, kandungan P_2O_5 merupakan faktor paling dominan karena secara langsung menentukan reaktivitas kimia dan efektivitas pupuk Phosgreen. Nilai ini menjadi indikator utama dalam menentukan kapasitas produksi dan rasio konversi bahan, di mana peningkatan 1% kandungan P_2O_5 dapat meningkatkan yield secara signifikan. Sub-kriteria tingkat impuritas menjadi prioritas kedua. Kandungan pengotor seperti Fe_2O_3 , Al_2O_3 , dan SiO_2 dapat menurunkan efisiensi proses pelarutan dan meningkatkan pembentukan residu padat. Oleh karena itu, bahan dengan tingkat kemurnian tinggi tidak hanya memberikan hasil reaksi lebih stabil, tetapi juga mengurangi kebutuhan energi tambahan dalam pemrosesan. Faktor homogenitas bahan memiliki bobot paling kecil, namun tetap berperan penting untuk memastikan keseragaman hasil produksi dalam skala besar.
Konsistensi fisik bahan baku sangat memengaruhi kestabilan reaktor kimia dan sistem umpan bahan, sehingga faktor ini berfungsi sebagai stabilizer dalam sistem produksi berkelanjutan. Dengan demikian, kombinasi ketiga sub-kriteria ini menegaskan bahwa dimensi kualitas dalam industri pupuk bersifat multidisipliner, menggabungkan faktor kimia, mekanika material, dan efisiensi energi (Kriswardhana, 2025).
- c. Sub-Kriteria pada Kriteria Ketersediaan (Availability): Faktor utama yang membentuk dimensi ketersediaan meliputi kontinuitas pasokan, ketergantungan impor, serta kapasitas penyimpanan dan distribusi. Dari ketiganya, kontinuitas pasokan memperoleh bobot tertinggi karena secara langsung memengaruhi keberlangsungan operasi pabrik. Dalam sistem produksi berkapasitas besar seperti PT Petrokimia Gresik, keterlambatan pengiriman bahan baku selama satu hari dapat menurunkan utilisasi pabrik hingga beberapa persen. Sub-kriteria ketergantungan impor menjadi aspek kritis kedua karena terkait dengan fluktuasi kurs, kebijakan perdagangan, dan risiko geopolitik. Kecenderungan perusahaan untuk memprioritaskan sumber bahan lokal menunjukkan strategi mitigasi terhadap ketidakpastian global. Sementara itu, kapasitas penyimpanan dan distribusi menempati bobot terendah namun memiliki nilai strategis dalam jangka panjang. Faktor ini

memengaruhi kemampuan perusahaan untuk menstabilkan operasi produksi dalam kondisi gangguan pasokan mendadak. Dengan demikian, struktur sub-kriteria ini menunjukkan bahwa perusahaan telah menerapkan prinsip supply continuity dan local sourcing sebagai upaya menuju sistem rantai pasok yang lebih tangguh (Christopher & Peck, 2004).

- d. Sub-Kriteria pada Kriteria Kemudahan Pengolahan (Processability): Pada dimensi kemudahan pengolahan, tiga faktor yang dievaluasi adalah bentuk fisik bahan, kebutuhan penyesuaian proses, dan stabilitas penyimpanan. Hasil pembobotan menunjukkan bahwa bentuk fisik bahan memiliki bobot tertinggi karena secara langsung mempengaruhi aliran material di pabrik dan efisiensi pada tahap pencampuran. Bahan berbentuk serbuk halus seperti ROP Fresh memiliki keunggulan dibanding bahan granular karena mempermudah homogenisasi reaktan. Sub-kriteria kebutuhan penyesuaian proses menjadi faktor kedua yang berpengaruh, menunjukkan bahwa bahan baku yang dapat digunakan tanpa modifikasi besar pada sistem eksisting lebih disukai. Hal ini sejalan dengan prinsip process adaptability, di mana fleksibilitas sistem produksi dianggap sebagai bentuk efisiensi non-finansial (Montgomery, 2019). Sementara stabilitas penyimpanan menempati bobot paling rendah, namun berperan penting dalam konteks pengelolaan persediaan jangka panjang. Ketiga faktor tersebut secara simultan menunjukkan bahwa perusahaan memiliki kapabilitas proses yang tinggi, di mana kompleksitas teknis bahan baku tidak lagi menjadi hambatan utama dalam efisiensi produksi.
- e. Sub-Kriteria pada Kriteria Lingkungan (Environment): Tiga sub-kriteria yang digunakan dalam kriteria lingkungan pada penelitian ini meliputi limbah cair yang dihasilkan, produk off-spec, dan emisi gas fluor. Hasil analisis menunjukkan bahwa limbah cair yang dihasilkan merupakan sub-kriteria yang paling dominan. Hal ini berkaitan dengan volume limbah cair yang muncul selama proses pelarutan fosfat, yang secara langsung memengaruhi kebutuhan pengolahan limbah serta risiko pencemaran lingkungan. Bahan baku yang menghasilkan limbah cair lebih rendah dinilai lebih unggul karena dapat menekan biaya pengolahan limbah dan meningkatkan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan. Sub-kriteria produk off-spec menempati posisi berikutnya, yang menunjukkan bahwa stabilitas kualitas bahan baku berpengaruh terhadap jumlah produk yang tidak memenuhi spesifikasi. Tingginya produk off-spec dapat menyebabkan peningkatan rework maupun pembuangan produk, sehingga berdampak pada efisiensi proses dan aspek lingkungan secara keseluruhan.

Sementara itu, emisi gas fluor berada pada prioritas berikutnya. Meskipun kontribusinya relatif lebih kecil dibandingkan sub-kriteria lainnya, aspek ini tetap dipertimbangkan karena berkaitan dengan potensi dampak lingkungan dan penerapan standar pengelolaan emisi dalam sistem Environmental Management System (EMS) perusahaan. Kombinasi ketiga sub-kriteria tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan lingkungan dalam pemilihan bahan baku tidak hanya berfokus pada pengendalian limbah akhir, tetapi juga mempertimbangkan stabilitas proses dan pengendalian emisi sebagai bagian dari pendekatan pengelolaan lingkungan yang lebih terintegrasi.

B. Analisis Hasil Penilaian Alternatif

Analisis hasil penilaian alternatif dilakukan untuk mengevaluasi tingkat preferensi relatif masing-masing bahan baku alternatif berdasarkan bobot total yang diperoleh dari hasil sintesis

metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Pada tahap ini, ROP fresh tidak diperlakukan sebagai alternatif, melainkan digunakan sebagai bahan baku pembandingan (baseline) untuk menilai kelayakan dan keunggulan alternatif yang diusulkan.

Bobot total setiap alternatif kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase, sehingga memudahkan interpretasi kontribusi relatif masing-masing alternatif dalam proses pengambilan keputusan.. Perbandingan bobot keseluruhan setiap alternatif dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 1. Persentase Bobot Total Alternatif Bahan Baku

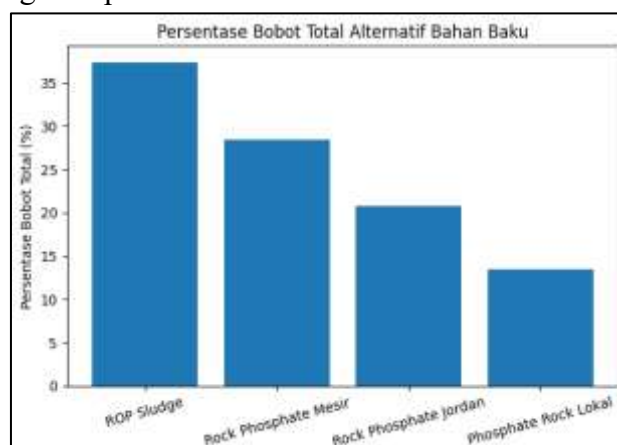
Alternatif Bahan Baku	Bobot Total	Persentase (%)	Peringkat
ROP Sludge (A1)	0.374	37.40	1
Rock Phosphate Mesir (A3)	0.284	28.40	2
Rock Phosphate Jordan (A2)	0.208	20.80	3
Phosphate Rock Lokal (A4)	0.135	13.50	4
Jumlah	1	100	

Sumber: Data Primer Diolah (2025)

Berdasarkan Tabel 1, **ROP Sludge (A1)** memiliki persentase bobot total tertinggi sebesar **37,4%**, yang menunjukkan bahwa alternatif ini merupakan **pilihan paling unggul** dibandingkan alternatif bahan baku lainnya. Keunggulan ROP sludge terutama didorong oleh kinerjanya yang dominan pada **kriteria biaya**, yang memiliki bobot kepentingan tertinggi dalam struktur AHP, serta performa yang kompetitif pada kriteria **kualitas, ketersediaan pasokan, kemudahan pengolahan, dan dampak lingkungan**.

Alternatif **Rock Phosphate Mesir (A3)** menempati peringkat kedua dengan persentase bobot sebesar **28,4%**. Alternatif ini memiliki kualitas bahan baku yang relatif baik dan tingkat ketersediaan yang cukup stabil, namun struktur biayanya masih lebih tinggi dibandingkan ROP sludge. Oleh karena itu, Rock Phosphate Mesir dinilai layak sebagai **alternatif pendukung**, khususnya dalam kondisi keterbatasan pasokan ROP sludge.

Sementara itu, **Rock Phosphate Jordan (A2)** dan **Phosphate Rock Lokal (A4)** memiliki persentase bobot yang lebih rendah, masing-masing sebesar **20,8%** dan **13,5%**. Hal ini menunjukkan bahwa kedua alternatif tersebut kurang kompetitif, terutama akibat keterbatasan pada aspek biaya, kualitas bahan baku, serta implikasi terhadap proses pengolahan dan lingkungan.. Untuk memperjelas perbandingan visual antar alternatif, hasil tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada **Gambar 5.1** berikut.



Gambar 1. Grafik Persentase Prioritas Alternatif Bahan Baku

Sumber: Data Primer diolah (2025)

Grafik pada Gambar 1 mencerminkan kondisi operasional aktual di PT Petrokimia Gresik, di mana bahan baku yang tersedia di dalam sistem produksi memiliki keunggulan dari sisi biaya dan ketersediaan. Tingginya persentase bobot ROP Sludge tidak hanya dipengaruhi oleh hasil perhitungan AHP, tetapi juga oleh fakta lapangan bahwa material ini merupakan hasil samping proses yang telah tersedia, sehingga tidak memerlukan biaya pengadaan dan logistik yang besar.

Sebaliknya, Rock Phosphate Mesir dan Rock Phosphate Jordan yang berasal dari sumber impor memiliki bobot yang lebih rendah akibat keterbatasan fleksibilitas pasokan serta struktur biaya yang lebih tinggi. Sementara itu, rendahnya bobot Phosphate Rock Lokal mencerminkan kondisi lapangan di mana kualitas bahan baku tersebut belum sepenuhnya memenuhi kebutuhan proses produksi Phosgreen, sehingga memerlukan penyesuaian proses tambahan. Dengan demikian, grafik ini tidak hanya menunjukkan peringkat alternatif, tetapi juga menggambarkan keterkaitan antara hasil analisis dan kondisi riil operasional di PT Petrokimia Gresik.

C. Analisis Stategis dan Implikasi Keputusan

Hasil penilaian alternatif bahan baku melalui metode Analytical Hierarchy Process (AHP) tidak hanya memberikan keputusan terbaik dalam konteks teknis, tetapi juga menghasilkan implikasi strategis terhadap kebijakan pengadaan dan arah pengembangan sistem produksi PT Petrokimia Gresik.

1. Implikasi terhadap Strategi Pengadaan

Hasil pemilihan bahan baku alternatif menunjukkan bahwa ROP Sludge merupakan alternatif paling optimal untuk menggantikan ROP fresh pada proses produksi pupuk Phosgreen. Keunggulan ROP sludge secara teknis dan operasional terutama ditunjukkan oleh keseimbangan antara efisiensi biaya bahan baku, kesesuaian kualitas terhadap spesifikasi proses, serta dampaknya terhadap sistem pengolahan dan lingkungan pabrik.

Dari sudut pandang engineering, pemanfaatan ROP sludge memberikan keuntungan pada struktur biaya proses karena material ini berasal dari hasil samping proses pengolahan fosfat yang telah tersedia di dalam sistem produksi. Hal ini mengurangi kebutuhan pengadaan bahan baku primer dengan biaya tinggi serta menurunkan biaya logistik dan penanganan material. Secara keseluruhan, kondisi ini berdampak langsung pada penurunan unit cost produksi pupuk Phosgreen.

Dari aspek proses, ROP sludge masih memiliki kandungan fosfat yang memadai untuk mendukung reaksi pelarutan dalam proses produksi. Meskipun tingkat homogenitasnya lebih rendah dibandingkan ROP fresh, karakteristik tersebut masih dapat ditoleransi oleh sistem operasi yang ada tanpa memerlukan perubahan signifikan pada peralatan maupun parameter proses. Dengan demikian, risiko gangguan operasi dan penurunan performa proses dapat diminimalkan.

Dari sisi operasional dan lingkungan, penggunaan ROP sludge berkontribusi pada pengurangan akumulasi limbah proses di area pabrik. Pemanfaatan kembali material ini sebagai bahan baku alternatif memungkinkan penurunan beban unit pengolahan limbah serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan material dalam sistem produksi. Pendekatan ini mencerminkan pergeseran strategi pengelolaan proses dari sekadar pembuangan residu menuju optimalisasi sumber daya yang tersedia.

Sementara itu, Rock Phosphate Mesir berperan sebagai alternatif pendukung yang layak secara teknis. Material ini memiliki kualitas yang relatif stabil dan dapat digunakan untuk menjaga kontinuitas produksi ketika pasokan ROP sludge terbatas. Namun, keterlibatan proses impor dan struktur biaya yang lebih tinggi menjadikan material ini kurang optimal dibandingkan ROP sludge dalam konteks efisiensi proses secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, pemilihan ROP sludge sebagai bahan baku alternatif utama, dengan Rock Phosphate Mesir sebagai alternatif pendukung, merupakan keputusan yang rasional secara engineering karena mempertimbangkan keterpaduan antara biaya proses, keandalan operasi, dan efisiensi pemanfaatan material dalam sistem produksi pupuk Phosgreen.

Selain implikasi efisiensi dan fleksibilitas pengadaan, ketergantungan jangka panjang terhadap satu sumber bahan baku, khususnya bahan baku lokal seperti ROP fresh, juga memiliki potensi risiko yang perlu dipertimbangkan secara strategis. Variasi karakteristik deposit tambang, seperti fluktuasi kandungan P_2O_5 , tingkat impuritas, dan homogenitas material, dapat memengaruhi konsistensi kualitas bahan baku yang diterima oleh pabrik.

Dalam jangka panjang, kondisi tersebut berpotensi menimbulkan ketidakstabilan proses produksi, peningkatan produk off-spec, serta kebutuhan penyesuaian parameter operasi yang lebih sering. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa diversifikasi bahan baku melalui pemanfaatan alternatif seperti ROP sludge dan Rock Phosphate Mesir tidak hanya berorientasi pada efisiensi biaya, tetapi juga berfungsi sebagai strategi mitigasi risiko terhadap ketergantungan pada satu sumber bahan baku.

2. Implikasi terhadap Efisiensi Operasional

Pemilihan ROP Sludge sebagai bahan baku alternatif utama memberikan implikasi langsung terhadap peningkatan efisiensi operasional pada proses produksi pupuk Phosgreen. Dari perspektif operasi pabrik, efisiensi tidak hanya ditentukan oleh biaya bahan baku, tetapi juga oleh kestabilan proses, kebutuhan penanganan material, serta dampaknya terhadap unit pendukung produksi.

Dari sisi penanganan material, ROP sludge yang tersedia di dalam sistem produksi memungkinkan pengurangan aktivitas bongkar muat dan transportasi bahan baku dari sumber eksternal. Kondisi ini menurunkan beban kerja peralatan penanganan material serta mengurangi waktu tunggu dalam rantai pasok internal, sehingga aliran material menuju unit proses menjadi lebih efisien.

Dari sisi proses produksi, karakteristik ROP sludge masih berada dalam rentang yang dapat diterima oleh parameter operasi yang ada. Hal ini mengurangi kebutuhan penyesuaian signifikan pada peralatan maupun kondisi operasi, sehingga risiko terjadinya gangguan proses dan penurunan throughput dapat ditekan. Stabilitas operasi ini berkontribusi pada peningkatan overall equipment effectiveness (OEE) secara tidak langsung.

Dari sisi utilitas dan pengolahan limbah, penggunaan ROP sludge berpotensi menurunkan beban unit pengolahan limbah karena material tersebut dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku. Penurunan volume residu yang harus diolah berdampak pada efisiensi penggunaan energi dan bahan kimia pada unit pengolahan limbah, serta mengurangi frekuensi penanganan limbah padat dan cair.

Sementara itu, penggunaan Rock Phosphate Mesir sebagai alternatif pendukung memberikan fleksibilitas operasional dalam menjaga kontinuitas produksi. Alternatif ini memungkinkan perusahaan untuk menyesuaikan komposisi bahan baku tanpa menghentikan

proses produksi ketika pasokan ROP sludge mengalami keterbatasan. Fleksibilitas ini mendukung stabilitas operasi dan mengurangi risiko downtime akibat gangguan pasokan bahan baku.

Secara keseluruhan, implikasi pemilihan bahan baku alternatif terhadap efisiensi operasional menunjukkan bahwa kombinasi ROP Sludge sebagai bahan baku utama dan Rock Phosphate Mesir sebagai alternatif pendukung mampu meningkatkan efisiensi proses, menurunkan beban operasional pendukung, serta menjaga kestabilan operasi pabrik dalam jangka menengah dan panjang.

3. Implikasi terhadap Keberlanjutan dan Daya Saing

Pemilihan ROP Sludge sebagai bahan baku alternatif utama memberikan implikasi positif terhadap keberlanjutan operasional dan daya saing perusahaan dalam jangka menengah hingga panjang. Dari sudut pandang keberlanjutan, pemanfaatan ROP sludge memungkinkan optimalisasi material yang sebelumnya dikategorikan sebagai residu proses, sehingga mengurangi akumulasi limbah dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya yang tersedia di dalam sistem produksi.

Pendekatan ini mendorong integrasi antara proses produksi dan pengelolaan residu secara lebih terpadu. Dengan mengalihkan sebagian material hasil samping menjadi bahan baku, beban pengolahan limbah dapat ditekan, yang secara tidak langsung berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi dan bahan pendukung pada unit pengolahan limbah. Kondisi ini meningkatkan efisiensi lingkungan dari keseluruhan sistem produksi tanpa memerlukan perubahan signifikan pada infrastruktur yang ada.

Dari sisi daya saing, penggunaan bahan baku alternatif dengan struktur biaya yang lebih rendah memberikan ruang bagi perusahaan untuk meningkatkan efisiensi biaya produksi. Efisiensi ini dapat dimanfaatkan untuk mempertahankan daya saing produk di pasar, baik melalui stabilitas harga jual maupun peningkatan margin operasional. Selain itu, fleksibilitas dalam pemilihan bahan baku, dengan keberadaan Rock Phosphate Mesir sebagai alternatif pendukung, memperkuat ketahanan rantai pasok dan mengurangi risiko ketergantungan pada satu sumber bahan baku.

Secara strategis, kombinasi pemanfaatan ROP sludge dan bahan baku alternatif pendukung menciptakan sistem produksi yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi operasional dan pasokan. Kemampuan untuk menyesuaikan komposisi bahan baku tanpa mengorbankan kualitas produk akhir menjadi faktor penting dalam menjaga kontinuitas produksi dan posisi kompetitif perusahaan.

Dengan demikian, hasil pemilihan bahan baku alternatif dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis optimasi proses dan pemanfaatan material internal tidak hanya mendukung keberlanjutan operasional, tetapi juga memperkuat daya saing perusahaan melalui efisiensi biaya, fleksibilitas operasional, dan ketahanan sistem produksi.

4. Kontribusi terhadap Kebijakan Perusahaan

Hasil pemilihan bahan baku alternatif dalam penelitian ini memberikan kontribusi yang relevan terhadap arah kebijakan perusahaan, khususnya dalam pengelolaan bahan baku, efisiensi operasional, dan keberlanjutan proses produksi. Penetapan ROP Sludge sebagai bahan baku alternatif utama mencerminkan kebijakan yang berorientasi pada optimalisasi sumber daya internal dan penguatan efisiensi proses.

Dari perspektif kebijakan pengadaan, hasil penelitian ini mendukung pergeseran strategi dari ketergantungan pada bahan baku primer berbiaya tinggi menuju pemanfaatan material yang telah tersedia dalam sistem produksi. Pendekatan ini memungkinkan perusahaan untuk menyusun kebijakan pengadaan yang lebih adaptif, dengan memprioritaskan bahan baku internal dan menetapkan bahan baku impor sebagai opsi pendukung ketika diperlukan.

Dari sisi kebijakan operasional, penggunaan ROP sludge sejalan dengan upaya perusahaan dalam meningkatkan efisiensi proses dan menekan biaya produksi tanpa mengurangi kualitas produk akhir. Hasil ini dapat dijadikan dasar dalam perumusan kebijakan operasional terkait pengaturan komposisi bahan baku, pengendalian biaya proses, serta peningkatan stabilitas operasi pabrik.

Selain itu, hasil penelitian ini juga berkontribusi terhadap kebijakan pengelolaan lingkungan perusahaan. Pemanfaatan ROP sludge sebagai bahan baku alternatif mendukung pengurangan limbah proses dan mendorong pemanfaatan kembali material hasil samping. Hal ini memperkuat kebijakan perusahaan dalam mengintegrasikan pengelolaan lingkungan ke dalam sistem produksi secara menyeluruh.

Secara keseluruhan, kontribusi penelitian ini terhadap kebijakan perusahaan terletak pada penyediaan dasar pengambilan keputusan yang bersifat teknis dan operasional. Dengan mempertimbangkan hasil pemilihan bahan baku alternatif secara komprehensif, perusahaan memiliki landasan yang lebih kuat untuk merumuskan kebijakan pengadaan, operasional, dan pengelolaan lingkungan yang selaras dengan tujuan efisiensi dan keberlanjutan.

D. Pengaruh ROP Sludge terhadap Biaya Produksi

Pengaruh penggunaan ROP Sludge terhadap biaya produksi pupuk Phosgreen dianalisis secara kuantitatif dengan meninjau kontribusi biaya bahan baku fosfat dalam struktur biaya produksi. Berdasarkan data aktual komposisi bahan baku, ROP fresh merupakan bahan baku utama dengan tingkat konsumsi sebesar 66,67% dan memiliki biaya sebesar 263,75 USD. Nilai tersebut menyumbang sekitar 97,66% dari total biaya bahan baku fosfat, yaitu sebesar 270,07 USD. Kondisi ini menunjukkan bahwa ROP fresh berperan sebagai komponen biaya dominan atau cost driver utama dalam struktur biaya produksi pupuk Phosgreen.

Tabel 2. Biaya bahan baku Pupuk Phosgreen dengan ROP Fresh

Bahan Baku	Consumption rate	Harga (USD)	Jumlah Biaya (USD)	Presentase
ROP	66,67%	395,61	263,75	97,66%
Dolomite	10,52%	24,67	2,60	0,96%
Gypsum	10,35%	5,85	0,61	0,22%
Clay	12,46%	25,04	3,12	1,16%
Total	100%		270,07	100%

Sumber: Data Internal PT Petrokimia Gresik (2022)

Tingginya kontribusi biaya ROP fresh menunjukkan bahwa hampir seluruh biaya bahan baku fosfat ditentukan oleh penggunaan material tersebut. Oleh karena itu, setiap upaya substitusi terhadap ROP fresh akan memberikan dampak langsung dan signifikan terhadap penurunan biaya produksi. ROP Sludge sebagai bahan baku alternatif memiliki karakteristik biaya yang lebih rendah karena berasal dari hasil samping proses pengolahan fosfat yang telah tersedia di dalam sistem produksi. Pemanfaatan material ini memungkinkan pengurangan biaya

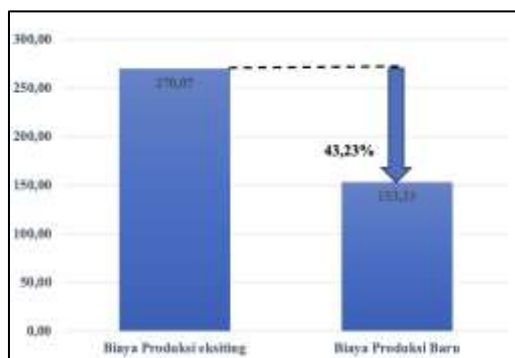
pengadaan bahan baku primer tanpa menghilangkan fungsi utama material sebagai sumber fosfat dalam proses produksi.

Secara kuantitatif, apabila ROP Sludge digunakan untuk menggantikan ROP fresh pada porsi konsumsi utama, maka komponen biaya sebesar 263,75 USD berpotensi ditekan secara signifikan. Harga ROP sludge per ton sebesar 220 USD jauh lebih rendah dari ROP fresh. Mengingat kontribusi ROP fresh mencapai hampir 98% dari total biaya bahan baku phosgreen, bahkan penurunan sebagian dari biaya tersebut akan berdampak langsung terhadap penurunan total biaya produksi pupuk Phosgreen. Dengan demikian, penggunaan ROP Sludge memberikan pengaruh nyata terhadap efisiensi biaya produksi.

Tabel 3. Biaya bahan baku Pupuk Phosgreen dengan ROP Sludge

Bahan Baku	Consumption rate	Harga (USD)	Jumlah Biaya (USD)	Presentase
ROP	66,67%	220,5	147,01	95,88%
Dolomite	10,52%	24,67	2,60	1,69%
Gypsum	10,35%	5,85	0,61	0,39%
Clay	12,46%	25,04	3,12	2,03%
Total	100%		153,33	100%

Sumber: Data Primer Diolah (2025)



Gambar 2. Grafik Penurunan Biaya Produksi Phosgreen

Sumber: Data Primer Diolah (2025)

Dari gambar 2 diketahui bahwa dengan penggunaan ROP sludge sebagai bahan baku pupuk Phosgreen, biaya produksi turun dari 270 USD/ton menjadi 153 USD/ton. Penurunan ini cukup signifikan karena mencapai 43,23% namun kualitas produk tetap terpantau sesuai standar.

Hasil pemilihan alternatif menggunakan metode Analytical Hierarchy Process menunjukkan bahwa kriteria biaya memiliki bobot tertinggi dalam struktur pengambilan keputusan. Dominasi bobot biaya ini mengindikasikan bahwa aspek minimisasi biaya merupakan pertimbangan utama dalam seleksi bahan baku alternatif. Penempatan ROP Sludge sebagai alternatif terbaik memperkuat temuan bahwa material ini secara relatif lebih efisien dari sisi biaya dibandingkan ROP fresh maupun alternatif lainnya.

Selain menurunkan biaya bahan baku langsung, penggunaan ROP Sludge juga berpotensi mengurangi biaya tidak langsung, seperti biaya pengadaan eksternal, transportasi, dan penanganan material. Pengurangan biaya pendukung tersebut semakin memperkuat pengaruh ROP Sludge terhadap penurunan biaya produksi secara keseluruhan. Berdasarkan

analisis kuantitatif kontribusi biaya bahan baku dan hasil pemilihan alternatif, dapat disimpulkan bahwa penggunaan ROP Sludge sebagai bahan baku alternatif mampu menurunkan biaya produksi pupuk Phosgreen secara signifikan, sehingga menjawab rumusan masalah ketiga dalam penelitian ini.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pemilihan bahan baku alternatif menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP), dapat disimpulkan bahwa pendekatan ini mampu mengevaluasi alternatif secara sistematis dengan mempertimbangkan aspek biaya, kualitas, ketersediaan pasokan, kemudahan pengolahan, dan dampak lingkungan, di mana kriteria biaya dan kualitas menjadi faktor paling dominan dalam pengambilan keputusan. Hasil sintesis menunjukkan bahwa Run of Pile (ROP) Sludge merupakan alternatif terbaik pengganti ROP fresh karena memiliki struktur biaya lebih efisien, ketersediaan internal, serta kesesuaian dengan proses yang ada tanpa penyesuaian teknis signifikan, sementara Rock Phosphate Mesir menempati peringkat kedua sebagai alternatif pendukung, sedangkan Rock Phosphate Jordan dan Phosphate Rock Lokal kurang kompetitif. Analisis sensitivitas menunjukkan hasil yang stabil, dengan ROP sludge tetap berada pada peringkat pertama meskipun terjadi perubahan moderat pada bobot kriteria, sehingga keputusan dinilai robust secara teknis dan operasional. Dari sisi biaya, penggunaan ROP sludge mampu menurunkan biaya produksi pupuk Phosgreen dari 270 USD/ton menjadi 153 USD/ton atau sekitar 43%, sehingga meningkatkan daya saing produk di pasar lokal maupun internasional. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan, antara lain bersumber pada penilaian subjektif responden melalui kuesioner, belum memasukkan variasi karakteristik bahan baku antar batch secara rinci, menggunakan pendekatan statis yang belum sepenuhnya merefleksikan dinamika harga dan pasokan, serta belum mengkaji dampak jangka panjang terhadap kinerja peralatan dan unit operasi. Oleh karena itu, perusahaan disarankan untuk mengimplementasikan ROP sludge secara bertahap, menerapkan strategi pengadaan yang fleksibel dengan Rock Phosphate Mesir sebagai alternatif pendukung, serta melakukan pengendalian kualitas dan operasional secara rutin, sementara penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji aspek teknis proses secara lebih mendalam, mengembangkan model analisis dinamis, memperluas kriteria dan alternatif, serta memvalidasi hasil berbasis kuesioner dengan data empiris agar akurasi dan relevansi pengambilan keputusan semakin meningkat, sekaligus mendukung pengembangan sistem pengadaan bahan baku yang efisien, adaptif, dan berorientasi pada keberlanjutan di industri pupuk.

REFERENSI

- Akshay, J., Bhandare, K., Sonawane, G., & Bhagat, S. (2018). Seven quality tools a review. *Int. Res. J. Eng. Technollogy*, 5(5), 2796–2798.
- Chen, C. C. (2013). Developed Autonomous Preventive Maintenance. *International Journal of Production Research*.
- Chong, K. E., & Goh, G. G. (2016). Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) through Integration of Maintenance Failure Mode and Effect Analysis (Maintenance-FMEA) in a Semiconductor Manufacturer: A Case Study. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*.

- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the Resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–13. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Fitriyan. (2016). Analisis Risiko Kerusakan Peralatan Dengan Menggunakan Metode Fmea Untuk Meningkatkan kinerja Pemeliharaan Prediktif Pada Pembangkit Listrik. 5: 1-8.
- Foster, S. T. (2007). *Managing Quality :Integrating the Supply Chain*. New Jersey: Pearson Education. Inc., 3rd edition.
- Frish, A. (2025). Analytical Consistency and Validity in Multi-Criteria Decision-Making Systems. *Journal of Decision Science*, 48(1), 27–45.
- Ismanto, A. (2019). *Analisa Penyebab Kerusakan pasa Boiler dengan Metode Failure Mode Effect Analisis*. Surabaya: Departemen Manajemen Teknologi.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2024). *Peta Jalan Industri Hijau dan Kebijakan Green Procurement Nasional 2024–2030*. Jakarta: Direktorat Jenderal Ketahanan, Perwilayahan, dan Akses Industri Internasional.
- Lambert, D. M. (2019). *Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance* (5th ed.). Ponte Vedra Beach, FL: Supply Chain Management Institute.
- Lutfiananda, D. (2021). *PeningkatanAvailibility Pabrik Asam Sulfat I PT Petrokimia Gresik Dengan Failure Mode & Effect Analysis*. Surabaya: Departemen Manajemen Teknologi.
- Lutvianto, P. H. (2019). *Evaluasi Perbaikan Sistem (Bugfix) Dengan Metode Failure Mode & Effect Analysis Pada Aplikasi Android Di Pt Aku*. Surabaya: Departemen Manajemen Teknologi.
- Mariajayaprakash, A., & Senthilvelan., T. (2013). Failure Detection and Optimization of Sugar Mill Boiler Using FMEA and Taguchi Method. *Engineering Failure Analysis*, 30: 17-26.
- Menteri Pertanian Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2020 Tentang Komponen Harga Pokok Penjualan Pupuk Bersubsidi Sektor Pertanian*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Menteri Pertanian Republik Indonesia. (2022). *TATA CARA PENETAPAN ALOKASI DAN HARGA ECERAN TERTINGGI*. Jakarta: Kemetrian Pertanian.
- Modarres, M. (1999). *Reliability Engineering and Risk Analysis*. Marcel Dekker Inc.
- Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control* (8th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- PT Petrokimia Gresik. (2019). *Laporan Tahunan - Leading Towards Exellent Sustainable Agriculture*. Gresik: PT Petrokimia Gresik.
- PT Petrokimia Gresik. (2021). *Rencana Mutu Pabrik Pupuk Fosfat I*. Gresik: PT Petrokimia Gresik.
- PT Petrokimia Gresik. (2022). *Evaluasi Produksi Pupuk Phosgreen*. Gresik: PT Petrokimia Gresik.
- PT Petrokimia Gresik. (2022). *Kajian Formula Pupuk Phosgreen*. Gresik: PT Petrokimia Gresik.
- PT Petrokimia Gresik. (2022). *Laporan Produksi Pabrik PF I*. Gresik: PT Petrokimia Gresik.
- PT Petrokimia Gresik. (2022). *Rencana Mutu Pupuk Phosgreen*. Gresik: PT Petrokimia Gresik.
- PT Petrokimia Gresik. (2023). *Laporan Keberlanjutan dan Transformasi Industri Hijau PT Petrokimia Gresik 2023*. Gresik: PT Petrokimia Gresik.

- Porter, M. E. (1998). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press.
- Saleem, F., Salman, N., Muhammad, A. K., Sohaib, Z. K., & Mohammad, A. S. (2017). Overall Equipment Effectiveness of Tyre Curing Press: A Case Study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill.
- UNIDO. (2024). *Industrial Energy Transition and Eco-Efficiency Practices in Developing Economies*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.