

Independent Production of Regular Portland Cement Assessed by Simulation and Net Present Value: Produksi Mandiri Semen Portland Biasa dievaluasi melalui simulasi dan Nilai Sekarang Bersih (NPV)

Tito Dwi Nugroho

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Jawa Timur

Iriani Iriani

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Jawa Timur

General background: Ensuring supply continuity and efficiency in cement distribution is a critical challenge for manufacturing companies. **Specific background:** PT. S faces a strategic decision between producing Ordinary Portland Cement (OPC) in-house or purchasing from external suppliers. **Knowledge gap:** Previous studies often assess make-or-buy decisions in general terms but rarely integrate operational simulations with financial feasibility for cement distribution. **Aims:** This study evaluates the comparative feasibility of in-house OPC production versus external purchasing by analyzing demand forecasting, production capacity, distribution performance, and economic outcomes. **Results:** Using Discrete-Event Simulation (DES), the study finds that a two-day pre-production strategy meets demand of 1,803 tons with a trailer cycle time of 89.9 minutes and effective loading duration of 7 hours and 35 minutes. Net Present Value (NPV) analysis reveals that the in-house option yields Rp2.16 billion, outperforming the buy option's negative Rp3.18 billion. **Novelty:** The integration of DES with NPV offers a robust framework for linking operational efficiency and financial viability in cement supply chain decisions. **Implications:** The findings indicate that in-house production is the more feasible option, providing higher financial returns, reducing supplier dependency, and strengthening operational resilience.

Highlights:

- In-house OPC production outperforms external purchasing financially.
- DES + NPV integration provides a novel decision-making framework.
- Strategy strengthens supply continuity and operational resilience.

Keywords: Make or Buy, OPC Cement, Discrete Event Simulation, Distribution Strategy, NPV Analysis

Pendahuluan

Analisis Studi kelayakan antara memproduksi (*Make*) atau membeli (*Buy*) adalah tantangan yang biasanya dihadapi oleh sebuah perusahaan. Analisis Studi kelayakan *Make or buy* menentukan keuntungan sebuah perusahaan. Keputusan (*Make*) biasanya diambil karena pengurangan biaya jangka panjang bagi perusahaan. Untuk opsi *buy*, pihak kompetitor biasanya memiliki keahlian atau teknologi yang tidak dimiliki oleh perusahaan, sehingga pembelian dapat meningkatkan kualitas produk. Menurut [1] studi kelayakan adalah mengkaji secara komperatif dan mendalam terhadap kelayakan suatu usaha. Usaha yang dikatakan layak atau tidak layak dijalankan dilihat dari hasil perbandingan dari faktor ekonomi yang dialokasikan kedalam usaha atau bisnis baru dengan hasil pengembaliannya atau pendapatan yang diperoleh dari usaha tersebut.

PT. S sebagai salah satu produsen semen terkemuka di Indonesia, harus mengelola kompleksitas yang terkait dengan keputusan *make or buy*, terutama dalam konteks produk semen *Ordinary Portland Cement* (OPC). Semen OPC adalah jenis semen yang paling umum digunakan dalam konstruksi, dikenal karena kekuatan awalnya yang cepat dan kemampuan untuk digunakan dalam berbagai konstruksi. PT. S harus mengambil keputusan itu dengan mempertimbangkan tidak hanya pada aspek biaya langsung, tetapi juga risiko yang muncul akibat ketidakpastian rantai pasok. Analisis mendalam dalam konteks ini mengenai keputusan *Make or buy* menjadi sangat penting untuk meningkatkan profitabilitas dan menjaga daya saing perusahaan di pasar yang semakin kompetitif.

PT. S saat ini memproduksi semen untuk memenuhi permintaan domestik di wilayah Pulau Jawa. Namun, untuk memenuhi kebutuhan pasar di kawasan Batam, PT. S masih melakukan pembelian semen tipe OPC dari pihak kompetitor. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan kapasitas produksi yang hanya mencapai 1.500 ton per hari, sedangkan permintaan di kawasan Batam mencapai 1.800 ton per hari. Oleh karena itu, untuk menutupi selisih kebutuhan tersebut, perusahaan perlu membeli tambahan pasokan dari pihak lain.

Saat ini PT. S masih mempertimbangkan untuk pengambilan keputusan apakah membeli kompresor sendiri dan fasilitas pendukung untuk make ataukah menyewa ke pihak vendor ketika ada pesanan semen tipe OPC. Berikut ini merupakan gambar proses *make or buy* dan distribusi.

Studi kelayakan merupakan suatu proses analisis untuk menilai sejauh mana suatu proyek dapat berhasil diselesaikan dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang memengaruhinya, seperti aspek ekonomi, teknologi, hukum, dan jadwal pelaksanaan. Tujuan dari studi ini adalah membantu manajer proyek dalam mengevaluasi kemungkinan keberhasilan serta manfaat dari proyek tersebut sebelum mengalokasikan sumber daya, waktu, dan dana secara signifikan [2].

Keputusan *make or buy* harus dianalisis secara mendalam untuk memastikan keseimbangan antara efisiensi biaya, fleksibilitas, dan keberlanjutan operasional perusahaan. Menurut [3] dalam konteks pengadaan, keputusan "*make or buy*" merujuk pada pilihan yang dihadapi oleh perusahaan, baik dalam sektor ritel maupun manufaktur, untuk memproduksi barang secara internal (*make*) atau membeli dari pemasok (*buy*).

Dalam studi *make or buy* semen OPC di S, optimalisasi bertujuan mencari solusi paling efisien dengan mempertimbangkan biaya, distribusi, dan kualitas produk. Optimalisasi sendiri, menurut penelitian terdahulu [4], berasal dari kata optimal yang berarti terbaik atau tertinggi, sedangkan optimalisasi adalah proses meningkatkan ketercapaian tujuan yang diharapkan sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Menurut [5] secara umum, optimasi didefinisikan menemukan nilai terbaik (minimal ataupun maksimal) dari sebagian fungsi yang diberikan dalam konteks Optimalisasi juga bisa ditarik upaya peningkatan kinerja agar menghasilkan hasil kerja yang tinggi serta kualitas yang baik. Menurut [6] Pengertian optimalisasi menurut dalam Kamus Oxford process of finding the best solution to some problem where "best" accords to prestatied criteria". Jadi, optimalisasi adalah sebuah proses, cara dan perbuatan (aktivitas) untuk mencari solusi terbaik dalam beberapa masalah, di mana yang terbaik sesuai dengan kriteria tertentu.

Peramalan (forecasting) adalah suatu pendekatan yang merupakan seni sekaligus ilmu dalam memperkirakan kejadian atau kondisi di masa depan. Proses ini dilakukan dengan cara mengumpulkan dan menganalisis data historis, lalu memproyeksikannya ke masa yang akan datang menggunakan suatu model sistematis, baik berupa model matematis maupun kombinasi pendekatan kuantitatif dan kualitatif yang disesuaikan dengan pertimbangan manajerial. Tujuan utama dari peramalan adalah untuk memberikan gambaran tentang kemungkinan-kemungkinan yang akan terjadi, sehingga dapat membantu organisasi atau pelaku usaha dalam membuat keputusan yang lebih tepat dan strategis. Dalam konteks bisnis, peramalan sangat penting karena dapat digunakan untuk memprediksi

jumlah penjualan atau kebutuhan produksi di masa mendatang. Dengan adanya prediksi yang akurat, pemilik usaha dapat menentukan langkah yang diperlukan, seperti menambah kapasitas produksi atau mengurangi jumlah produksi agar sesuai dengan permintaan pasar, sehingga efisiensi dan efektivitas operasional perusahaan dapat terjaga [7]

Distribusi adalah rangkaian aktivitas kompleks yang mencakup perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian aliran barang atau jasa dari produsen ke konsumen akhir melalui berbagai saluran, baik secara langsung maupun tidak langsung, dengan tujuan memastikan ketersediaan produk yang tepat, dalam jumlah yang sesuai, di lokasi yang dibutuhkan, pada waktu yang optimal, serta dengan biaya serendah mungkin. Menurut [8] Distribusi adalah salah satu komponen krusial dalam proses pemasaran. Aktivitas ini mencakup upaya untuk mempercepat dan mempermudah aliran barang maupun jasa dari produsen ke tangan konsumen, agar produk tersebut dapat dimanfaatkan secara tepat sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dalam bisnis, [9] distribusi adalah tugas yang sangat dihargai. Distribusi adalah proses mendapatkan barang ke pelanggan. Namun, proses distribusi seringkali menghadapi kendala akibat keterbatasan transportasi.

Produksi adalah serangkaian proses kompleks yang melibatkan perencanaan, pengorganisasian, koordinasi, dan pengendalian sumber daya untuk mengubah bahan baku menjadi produk akhir yang bernilai bagi konsumen, dengan mempertimbangkan efisiensi biaya, kualitas, serta keberlanjutan rantai pasok. Proses ini mencakup aspek teknis seperti teknologi manufaktur, rekayasa proses, optimalisasi kapasitas, serta aspek manajerial seperti strategi operasional, alokasi sumber daya, analisis biaya-manfaat, dan manajemen risiko. Menurut [10] Produksi merupakan kegiatan yang bertujuan untuk menciptakan atau meningkatkan nilai dan kegunaan suatu barang. Meskipun para ahli ekonomi, baik dari aliran klasik maupun modern, memberikan definisi yang beragam, secara prinsip mereka memiliki pemahaman yang serupa, hanya saja disampaikan dengan cara atau pendekatan yang berbeda.

Semen adalah bahan perekat hidraulik yang, setelah dicampur dengan air, akan mengeras dan mengikat material lain menjadi satu kesatuan yang kuat. Semen banyak digunakan dalam konstruksi sebagai bahan utama dalam pembuatan beton dan mortar. Jenis semen yang umum digunakan antara lain Ordinary Portland Cement (OPC) dan Portland Composite Cement (PCC), yang memiliki karakteristik serta kegunaan berbeda sesuai kebutuhan proyek. Dimana yang sedang dilakukan dalam penelitian ini yaitu semen jenis OPC dimana Menurut [11] Semen Portland Biasa, juga dikenal sebagai semen Portland, diproduksi dengan menggiling bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal dari senyawa kalsium sulfat dan bahan tambahan lainnya.

Dalam studi kasus *make or buy* ini, kompresor memiliki peran krusial dalam proses distribusi semen, terutama untuk pemuatan langsung dari trailer ke kapal. Penggunaan kompresor memungkinkan transfer semen curah secara efisien tanpa bergantung pada silo jetty, sehingga memberikan fleksibilitas lebih dalam distribusi serta menjadi solusi atas keterbatasan fasilitas yang tersedia. Pengertian kompresor Menurut [12] Kompresor adalah pesawat/mesin yang berfungsi untuk memampatkan atau menaikkan tekanan udara atau fluida gas atau memindahkan fluida gas dari suatu tekanan statis rendah ke suatu keadaan tekanan statis yang lebih tinggi. Udara atau fluida gas yang dihisap kompresor biasanya adalah udara/fluida gas dari atmosfer walaupun banyak pula yang menghisap udara/fluida gas spesifik dan bertekanan lebih tinggi dari atmosfer, dalam hal ini kompresor berfungsi sebagai penguat atau booster.

Mesin kompresor udara bekerja berdasarkan prinsip yang terstruktur dan saling mendukung agar dapat beroperasi secara optimal. Secara umum, terdapat empat prinsip utama dalam cara kerja kompresor, yaitu:

1. Staging

Selama proses kompresi, suhu dalam mesin kompresor akan meningkat seiring bertambahnya tekanan. Proses ini dikenal sebagai *polytropic compression*. Ketika suhu naik, tekanan pun ikut meningkat. Kompresor dirancang untuk mampu menurunkan suhu tekanan udara sekaligus meningkatkan efisiensi proses kompresi. Tekanan udara yang dihasilkan berfungsi untuk mengendalikan suhu dan mempersiapkan sistem menuju tahapan berikutnya.

2. Intercooling

Intercooler, atau alat penurun panas, memegang peran penting dalam proses kompresi. Fungsinya adalah untuk menurunkan suhu udara bertekanan di dalam tabung kompresor agar dapat digunakan lebih lanjut. Umumnya, suhu udara terkompresi jauh lebih tinggi daripada suhu lingkungan, dengan selisih suhu berkisar antara 10°F (sekitar -12°C) hingga 15°F (sekitar -9°C).

3. Compressor Displacement

Dalam teori, kapasitas kompresor ditentukan oleh volume tekanan udara yang mampu disimpan dalam tabungnya. Namun, dalam praktiknya, kapasitas ini bisa menurun karena beberapa faktor seperti rendahnya tekanan masuk (*intake*), pemanasan awal pada udara yang masuk, kebocoran, serta ekspansi volume udara.

4. Specific Energy Consumption

Specific energy consumption menggambarkan jumlah energi yang diperlukan oleh kompresor untuk mengompresi udara dalam setiap unit kapasitas tertentu. Biasanya, besaran ini diukur dalam satuan *bhp/100 cfm*, yang menunjukkan efisiensi konsumsi energi dari mesin kompresor tersebut.[13].

Simulasi event diskrit (Discrete Event Simulation/DES) merupakan pendekatan pemodelan yang menggambarkan sistem sebagai rangkaian peristiwa yang terjadi pada titik waktu tertentu. Dalam konteks Analisis studi kelayakan *Make or buy* Semen OPC di PT. S. DES digunakan untuk mensimulasikan proses distribusi semen OPC pada dua skenario utama, yaitu produksi sendiri (make) dan pembelian dari kompetitor (buy). Menurut [14] Simulasi kejadian diskrit (Discrete-Event Simulation/DES) merupakan pendekatan yang tepat untuk merepresentasikan sistem yang berubah seiring waktu (dinamis), mengalami perubahan pada momen-momen tertentu (diskrit), dan mengandung unsur ketidakpastian (stokastik). Metode ini banyak dimanfaatkan dalam analisis sistem antrian karena mampu menggambarkan dinamika perubahan variabel secara mendetail pada setiap kejadian penting yang mempengaruhi jalannya proses dalam sistem., Metode ini memungkinkan pemetaan berbagai kejadian penting dalam sistem, seperti kedatangan trailer ke jetty, proses pemuatan semen menggunakan kompresor, waktu tunggu dalam antrian, serta keberangkatan kapal. Dengan meniru dinamika operasional ini dalam simulasi, PT. S dapat mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi distribusi dan memahami bagaimana keterbatasan fasilitas, seperti kapasitas jetty dan kecepatan pemuatan, berdampak pada kinerja keseluruhan sistem. Dari berbagai metode simulasi yang tersedia, simulasi kejadian diskrit (discrete-event simulation) merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk merepresentasikan sistem operasi, di mana setiap perubahan status dalam sistem dipicu oleh suatu peristiwa yang terjadi pada waktu tertentu [15]

Metode

A. Identifikasi Masalah dan Definisi operasional Variabel

Variabel merupakan objek yang menjadi focus dalam penelitian. Maka variabel-variabel yang berhubungan dengan penelitian ini dapat di definisikan sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah faktor yang dapat dimanipulasi atau diubah dalam suatu penelitian. Variabel ini dianggap sebagai penyebab yang mempengaruhi variabel Terikat. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu:

- a. Jumlah trailer ISO tank yang akan digunakan pada proses distribusi
- b. Waktu loading per trailer menggunakan kompresor
- c. Jumlah kompresor yang digunakan dan kapasitas per unit
- d. Jarak tempuh dan waktu tempuh dari pabrik ke jetty
- e. Jumlah permintaan semen OPC
- f. Kapasitas Produksi semen OPC
- g. Investasi awal, biaya distribusi, dan perawatan kompresor

2. Variabel Terikat

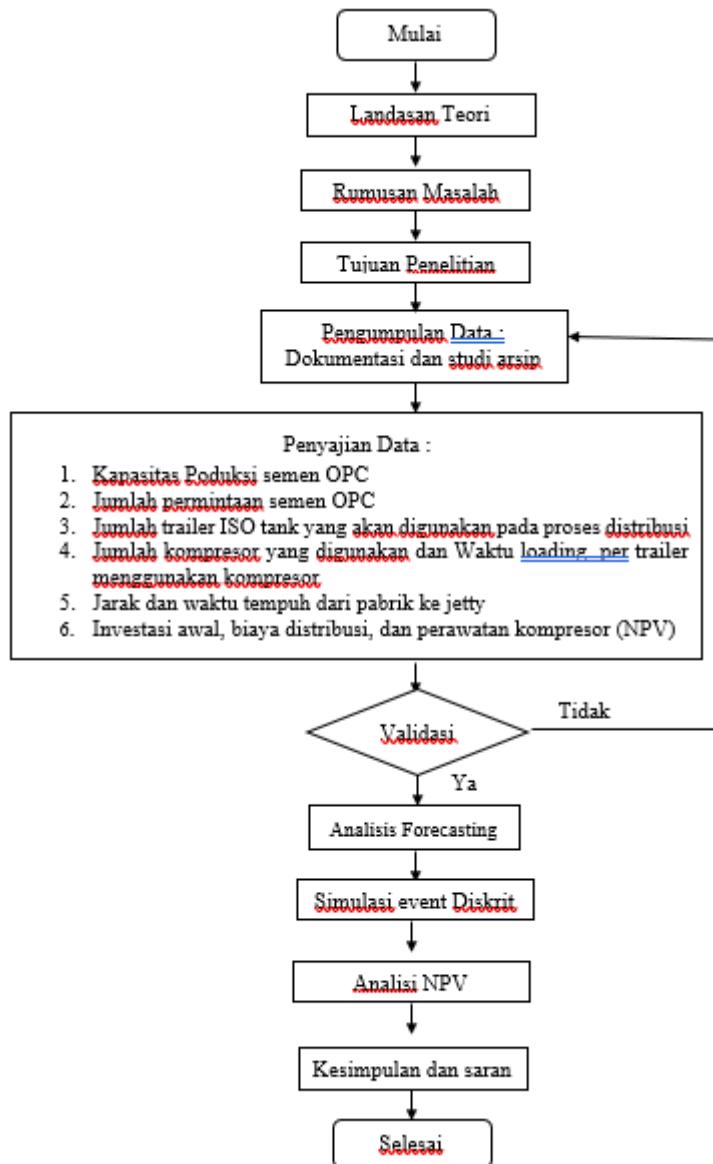
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kelayakan produksi dan efisiensi distribusi semen OPC, yang mencerminkan kinerja distribusi internal jika PT. S memilih opsi *make*.

B. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi kejadian diskrit Dalam konteks Analisis studi kelayakan *Make or buy* Semen OPC di PT. S. DES digunakan untuk mensimulasikan proses distribusi semen OPC pada dua skenario utama, yaitu produksi sendiri (make) dan pembelian dari kompetitor (buy). Menurut [14] Simulasi kejadian diskrit (Discrete-Event Simulation/DES) merupakan pendekatan yang tepat untuk merepresentasikan sistem yang berubah seiring waktu (dinamis), mengalami perubahan pada momen-momen tertentu (diskrit), dan mengandung unsur ketidakpastian (stokastik)

C. Langkah Langkah penyelesaian permasalahan

Gambar 2 merupakan tahapan penelitian. Penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan yang disusun secara sistematis dan terstruktur, dimulai dari perumusan masalah, penetapan tujuan, pengumpulan data, hingga analisis dan penarikan kesimpulan.

**Gambar 2.** Flowchart

Hasil dan Pembahasan

A. Analisis Forecasting

Berdasarkan data historis terlihat bahwa permintaan semen OPC menuju Batam mengalami fluktuasi ringan dari waktu ke waktu, namun tetap berada dalam rentang yang dapat diperkirakan. Stabilitas permintaan ini mempermudah perusahaan dalam merancang perencanaan produksi dan distribusi secara lebih efisien. Dengan pola permintaan yang relatif konsisten, strategi produksi yang dilakukan sebelum jadwal pengiriman dapat diterapkan secara optimal, sehingga kebutuhan dapat terpenuhi tepat waktu tanpa menghambat proses pemuatan ke kapal. Seperti pada tabel 1

Periode	Jumlah Semen OPC Ke batam (Ton)
Juli-24	1700
Juli-24	1900
Juli-24	1800
Agustus-24	1750
Agustus-24	1850
September-24	1800
Okttober-24	1900
Okttober-24	1750
Okttober-24	1800

Tabel 1. Data Historis Permintaan.

1. Output Data Solution

Hasil analisis menunjukkan bahwa metode yang digunakan menghasilkan MAPE (Mean Absolute Percentage Error) sebesar 3,186%, yang mengindikasikan bahwa akurasi peramalan tergolong sangat baik karena berada di bawah 10%. Nilai Bias (Mean Error) sebesar 30,956 menunjukkan adanya sedikit kecenderungan overestimasi. Nilai MAD (Mean Absolute Deviation) sebesar 58,955 menunjukkan deviasi rata-rata dari nilai aktual terhadap hasil peramalan. Sedangkan MSE (Mean Squared Error) sebesar 7288,044 dan Standard Error sebesar 96,801 mencerminkan adanya fluktuasi error yang cukup rendah, memperkuat kualitas model. Dengan demikian, model ini dapat dikatakan cukup akurat dan andal untuk digunakan dalam meramalkan permintaan periode berikutnya. Seperti pada tabel 2.

Forecasting/Time Series Analysis Results	
1000 Solution	
Measure	
Error Measures	
Bias (Mean Error)	30,956
MAD (Mean Absolute Deviation)	58,955
MSE (Mean Squared Error)	7288,044
Standard Error (denom=n-2=7)	96,801
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	3,186%
Forecast	
next period	1803,084

Tabel 2. Output Data Solution

2. Output Data Details and Errors

Pada tabel 3 historis 9 periode, terlihat bahwa hasil peramalan memiliki tingkat kedekatan yang cukup tinggi terhadap permintaan aktual, dengan total error absolut sebesar 530,599. Nilai error terbesar terdapat pada periode ke-7 (99,783), namun secara keseluruhan error cenderung kecil dan stabil. Rata-rata forecast per periode adalah 1805,556, cukup dekat dengan rata-rata demand 1802,222, menunjukkan model peramalan dapat mengikuti pola permintaan dengan baik. Nilai Next period forecast adalah 1803,084, yang dapat dijadikan acuan perencanaan kebutuhan di periode berikutnya dengan tingkat keyakinan yang cukup tinggi berdasarkan hasil error yang rendah dan stabil.

Berdasarkan hasil forecasting, permintaan semen tipe OPC pada periode mendatang diperkirakan sebesar 1803 ton. Namun, kapasitas produksi harian maksimal pabrik hanya 1500 ton per hari. Dalam kasus ini, terdapat kondisi khusus bahwa kapal pengangkut telah siap di hari H dan proses pemuatan ke kapal akan langsung dimulai sejak awal hari tersebut. Oleh karena itu, seluruh jumlah semen yang dibutuhkan harus sudah tersedia sepenuhnya sebelum hari H dimulai, dan tidak memungkinkan lagi dilakukan produksi pada hari H.

	Demand(y)	Forecast	Error	Error	Error^2	Pct Error
Past Perio...	1700	1700	0	0	0	0%
Past Perio...	1900	1700	200	200	40000	10,526%
Past Perio...	1800	1774	26	26	676	1,444%
Past Perio...	1750	1783,62	-33,62	33,62	1130,304	1,921%
Past Perio...	1850	1771,181	78,819	78,819	6212,507	4,261%
Past Perio...	1800	1800,344	-,344	,344	,118	,019%
Past Perio...	1900	1800,217	99,783	99,783	9956,736	5,252%
Past Perio...	1750	1837,136	-87,136	87,136	7592,765	4,979%
Past Perio...	1800	1804,896	-4,896	4,896	23,971	,272%
TOTALS	16250		278,607	530,599	65592,4	28,675%
AVERAGE	1805,556		30,956	58,955	7288,044	3,186%
Next perio...		1803,084	(Bias)	(MAD)	(MSE)	(MAPE)
				Std err	96,801	

Tabel 3. Output Data Details and Errors

Tantangan Produksi:

- Produksi harian maksimum 1500 ton, sementara total kebutuhan sebesar 1803 ton.
- Tidak dimungkinkan produksi di hari H karena hari tersebut difokuskan untuk proses loading ke kapal.
- Maka, seluruh kebutuhan harus dipenuhi dari produksi di hari-hari sebelumnya (H-1 dan H-2).

Strategi Produksi yang Direkomendasikan:

Rencana Produksi 2 Hari Sebelumnya:

Hari Produksi	Jumlah Produksi	Akumulasi Produksi
Hari H-2	303 ton	303 ton
Hari H-1	1500 ton	1803 ton

Tabel 4. Rencana Produksi

- Hari H-2: Produksi dimulai dengan porsi kecil 303 ton.
- Hari H-1: Produksi penuh 1500 ton sesuai kapasitas maksimal harian.
- Hari H: Tidak ada aktivitas produksi; fokus pada pemuatan ke kapal.

Kesiapan Loading di Hari H:

Dengan strategi ini, semen telah tersedia sebanyak 1803 ton pada awal hari H, sehingga proses loading ke kapal dapat dimulai tepat waktu tanpa perlu menunggu proses produksi tambahan. Hal ini sangat penting untuk menjamin kelancaran distribusi laut dan menghindari biaya denda akibat keterlambatan bongkar muat.

B. Analisis Proses Distribusi

Gambar 3 merupakan gambar dari Kompresor yang akan digunakan dalam proses pemuatan semen, di mana semen akan dipindahkan langsung dari trailer ke kapal tanpa melalui fasilitas penyimpanan sementara. Penggunaan kompresor memungkinkan alur distribusi berjalan lebih efisien dengan mempersingkat waktu bongkar muat, serta mengurangi risiko kontaminasi atau kehilangan material selama proses transfer. Sistem ini sangat mendukung strategi distribusi langsung, terutama dalam kondisi keterbatasan fasilitas silo di area jetty.

Contoh Compressor



spesifications:

1. Compressor unit spec:
 - Flow air : 4.3 – 27.3 m3/min / 260-1640 m3/hr / 155-980 cfm
 - Pressure : 0.7-7 Bar
 - Power : 37-90 Kw
 - L/L / W / H : 1500/1850 x 1250 x 1720 (mm)

Gambar 3. Kompresor yang akan digunakan

jika PT S memproduksi sendiri semen OPC. Dengan kapasitas aliran udara 4,3–27,3 m³/menit dan tekanan 0,7–7 bar, kompresor ini mampu mempercepat pemindahan semen tanpa perlu menggunakan silo, sehingga mendukung distribusi yang lebih efisien dan tepat waktu.

C. Analisis Cycle Time Total Waktu per Trailer

Tabel 5 yang menggambarkan secara rinci tahapan proses beserta estimasi waktu yang dibutuhkan pada setiap langkahnya. Tabel ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai alur distribusi serta durasi masing-masing aktivitas, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan evaluasi efisiensi dan perencanaan operasional yang lebih tepat:

Tahapan	Durasi	Keterangan
1. Isi semen di plant	20 mnt	Proses pengisian penuh trailer (kapasitas 72 ton)
2. Penimbangan di logistik (2 timbangan)	10 mnt	Diasumsikan tidak ada antrian. Jika ada, bisa bottleneck kecil
3. Menuju jetty	12,9 mnt	Jarak tempuh dengan kecepatan rata-rata 15 km/jam
4. Manuver di jetty	2 mnt	Posisi dan penyambungan ke sistem loading
5. Loading ke kapal (2 kompresor)	35 mnt	2 trailer bisa loading bersamaan
6. Kembali ke plant	10 mnt	Perjalanan balik dari jetty ke plant
Total Waktu Siklus	89,9 mnt	Total waktu 1 trailer dari isi hingga kembali ke plant

Tabel 5. Tabel data tahapan distribusi

Setiap trailer membutuhkan waktu siklus penuh selama 89,9 menit, yang mencakup enam tahapan utama. Proses dimulai dari pengisian semen di plant selama 20 menit, kemudian penimbangan di area logistik selama 10 menit. Setelah itu, trailer menempuh perjalanan menuju jetty selama 12,9 menit, melakukan manuver untuk menyambung ke sistem loading selama 2 menit, lalu melakukan proses loading ke kapal selama 35 menit menggunakan 2

kompresor. Terakhir, trailer kembali ke plant dalam 10 menit. Waktu loading 35 menit merupakan waktu per batch, di mana 2 trailer dapat dimuat secara bersamaan.

1. Muatan Awal (7 Trailer di Logistik)

Apabila ketujuh trailer sudah siap di area logistik, mereka tetap harus melalui perjalanan ke jetty dan manuver. Maka, total muatan awal:

$$7 \times 72 = 504 \text{ ton}$$

Dengan asumsi bahwa 7 trailer telah siap di area logistik, berarti mereka sudah selesai proses pengisian dan penimbangan. Masing-masing trailer membawa 72 ton semen, sehingga total muatan awal adalah 504 ton. Ini adalah jumlah semen yang siap untuk dikirim ke jetty dan dimuat ke kapal saat proses distribusi dimulai.

2. Waktu Menuju Jetty dan Manuver (Sebelum Loading)

Durasi per trailer:

$$12,9 \text{ (jalan)} + 2 \text{ (manuver)} = 14,9 \text{ menit}$$

Untuk 7 trailer (2 kompresor, 4 batch):

$$4 \text{ batch} \times 14,9 = 59,6 \text{ menit}$$

Karena ketujuh trailer masih berada di logistik dan belum berada di jetty, maka perlu waktu tambahan untuk berpindah ke lokasi loading. Setiap trailer memerlukan 12,9 menit untuk perjalanan ke jetty dan 2 menit untuk manuver, sehingga total waktu tambahan per trailer adalah 14,9 menit. Dengan sistem loading 2 trailer per batch (4 batch total), total waktu tambahan untuk memindahkan dan memposisikan seluruh trailer adalah 59,6 menit.

3. Waktu Loading Awal (7 Trailer)

Batch loading awal (2 trailer/batch):

$$4 \times 35 = 140 \text{ menit}$$

Total proses awal (jalan, manuver, loading):

$$59,6 + 140 = 199,6 \text{ menit} \approx 3 \text{ jam } 20 \text{ menit}$$

Loading terhadap 7 trailer dilakukan dalam 4 batch karena setiap batch memuat 2 trailer dengan 2 kompresor. Masing-masing batch membutuhkan 35 menit, sehingga total waktu loading untuk 7 trailer adalah 140 menit. Jika digabungkan dengan waktu tambahan perjalanan dan manuver ke jetty, maka total waktu proses awal sebelum semua muatan awal selesai dimuat ke kapal adalah 199,6 menit atau sekitar 3 jam 20 menit.

4. Sisa Semen dan Loading Tambahan

Sisa semen setelah 7 trailer:

$$1800 - 504 = 1296 \text{ ton} \Rightarrow \left[\frac{1296}{72} \right] = 18 \text{ trailer}$$

Batch loading sisa:

$$\left[\frac{18}{2} \right] = 9 \text{ batch} \rightarrow 9 \times 35 = 315 \text{ menit}$$

Setelah 504 ton dari 7 trailer dimuat, masih tersisa 1296 ton semen dari total 1800 ton yang harus dikirim. Karena setiap trailer mampu mengangkut 72 ton, maka dibutuhkan 18 trailer tambahan atau 18 siklus. Proses loading terhadap sisa 18 trailer ini dilakukan dalam 9 batch, masing-masing memakan waktu 35 menit, sehingga total waktu loading tambahan adalah 315 menit atau 5 jam 15 menit.

5. Waktu Efektif dan Kelayakan Distribusi

Total waktu loading seluruhnya:

$$140 \text{ (awal)} + 315 \text{ (sisa)} = 455 \text{ menit} = 7 \text{ jam } 35 \text{ menit } 140$$

Waktu efektif tersedia untuk OPC:

$$9 \text{ jam} = 540 \text{ menit}$$

Waktu non-loading tersisa:

$$540 - 315 = 225$$

Siklus 1 trailer: 89,9 menit

Artinya, tersisa waktu untuk hanya sekitar 2–3 siklus penuh trailer dari plant ke jetty (isi, timbang, jalan, loading, kembali). Distribusi dapat selesai jika trailer berputar secara paralel, bukan serial.

Waktu efektif yang tersedia untuk distribusi semen OPC adalah 9 jam atau 540 menit. Dari total waktu ini, proses loading sisa semen membutuhkan 315 menit, menyisakan 225 menit untuk semua aktivitas lainnya, seperti pengisian semen, penimbangan, perjalanan, manuver, dan kembali ke plant. Karena waktu siklus satu trailer adalah 89,9 menit, maka waktu tersisa hanya cukup untuk sekitar 2–3 siklus penuh jika dilakukan secara berurutan. Oleh karena itu, agar distribusi dapat selesai tepat waktu, proses harus berjalan secara paralel dan efisien, tanpa adanya antrean signifikan atau keterlambatan.

6. Pembuatan penjadwalan distribusi semen PCC dan OPC

Berikut ini merupakan tabel 6 yang menyajikan jadwal pelaksanaan distribusi semen, baik untuk tipe PCC maupun OPC, yang telah dirancang sebagai bagian dari proses perencanaan logistik perusahaan. Tabel ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang terstruktur mengenai waktu dan urutan distribusi masing-masing jenis semen, sehingga proses pengiriman dapat dilakukan secara lebih terkoordinasi, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan pasar yang telah ditentukan.

Jam	Jenis Semen	Jumlah Muat (ton)
00:00 – 01:00	PCC	450
01:00 – 02:00	PCC	450
02:00 – 03:00	PCC	450
03:00 – 04:00	PCC	450
04:00 – 05:00	PCC	450
05:00 – 06:00	PCC	450
06:00 – 07:00	PCC	450
07:00 – 08:00	PCC	450
08:00 – 09:00	PCC	450
09:00 – 10:00	PCC	450
10:00 – 11:00	PCC	450
11:00 – 12:00	PCC	450
12:00 – 13:00	PCC	450
13:00 – 14:00	PCC	450
14:00 – 15:00	PCC	450
15:00 – 16:00	OPC	180
16:00 – 17:00	OPC	180
17:00 – 18:00	OPC	180
18:00 – 19:00	OPC	180
19:00 – 20:00	OPC	180
20:00 – 21:00	OPC	180
21:00 – 22:00	OPC	180
22:00 – 23:00	OPC	180
23:00 – 24:00	OPC	180

Tabel 6. Jadwal Pembuatan penjadwalan Distribusi Semen (PCC dan OPC)

7. Pembahasan penjadwalan

Distribusi dimulai tepat pukul 00.00 saat kapal tersedia. Jenis semen yang pertama dimuat adalah semen PCC, dengan kecepatan loading sebesar 450 ton per jam selama 15 jam penuh, dari pukul 00.00 sampai 15.00. Dalam periode ini, total semen PCC yang dimuat adalah:

$$15 \text{ jam} \times 450 \text{ ton/jam} = 6.750 \text{ ton}$$

Setelah pukul 15.00, kapal beralih memuat semen OPC dengan kecepatan loading yang lebih rendah, yaitu 180 ton per jam selama 9 jam, dari pukul 15.00 hingga 24.00. Total semen OPC yang berhasil dimuat dalam waktu tersebut adalah:

$$9 \text{ jam} \times 180 \text{ ton/jam} = 1.620 \text{ ton}$$

Penjadwalan ini mengatur distribusi berdasarkan efisiensi pemuatan dan memisahkan waktu antar jenis semen agar tidak tercampur di silo jetty. Dengan skema ini, seluruh kapasitas distribusi selama 24 jam kapal digunakan secara optimal: 15 jam pertama untuk PCC dan 9 jam berikutnya untuk OPC. Strategi ini cocok apabila pemuatan tidak dapat dilakukan bersamaan, serta menjamin kualitas masing-masing tipe semen tetap terjaga

D. Analisis NPV

Berdasarkan hasil peramalan pada sub bab 4.1 yang dilakukan untuk memperoleh estimasi rata-rata volume setiap permintaan, selanjutnya dilakukan analisis distribusi pada sub bab 4.2 dengan tujuan mengidentifikasi pola, efisiensi, serta potensi hambatan dalam pemenuhan permintaan tersebut. Langkah terakhir adalah melakukan analisis Net Present Value (NPV) sebagai dasar penilaian kelayakan dan proyeksi kinerja finansial perusahaan dalam jangka waktu lima tahun ke depan, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan strategis yang berbasis pada data dan pertimbangan ekonomi yang komprehensif. Berikut ini disajikan hasil analisis NPV secara terperinci untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi finansial yang diproyeksikan.

Rumus NPV

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

dengan:

- a. CF_t = cash flow pada tahun ke- t (biaya \rightarrow negatif).
- b. i = tingkat diskonto (10%).
- c. n = 5 tahun.

1. Perhitungan Opsi Make

Tahun 0:

- Investasi awal = Rp 150.000.000

Tahun 1 s.d 5:

a. Tahun 1:

Biaya operasi distribusi = Rp 360.000.000

Biaya perawatan = Rp 150.000.000 Total = Rp 510.000.000

b. Tahun 2:

Biaya operasi distribusi = $360.000.000 \times 1,03 =$ Rp 370.800.000

Biaya perawatan = Rp 150.000.000 Total = Rp 520.800.000

c. Tahun 3: $370.800.000 \times 1,03 =$ Rp 381.924.000

Rp 150.000.000 = Rp 531.924.000

d. Tahun 4: $381.924.000 \times 1,03 =$ Rp 393.381.720

Rp 150.000.000 = Rp 543.381.720

e. Tahun 5: $393.381.720 \times 1,03 =$ Rp 405.183.171

Rp 150.000.000 = Rp 555.183.171

Tahun	Cash Flow (Rp)	Rumus Diskonto	PV (Rp)
0	150.000.000	150.000.000 / (1+0,1)^0	150.000.000
1	510.000.000	510.000.000 / 1,1	463.636.364
2	520.800.000	520.800.000 / 1,1^2	430.578.512
3	531.924.000	531.924.000 / 1,1^3	399.779.916
4	543.381.720	543.381.720 / 1,1^4	371.111.774
5	555.183.171	555.183.171 / 1,1^5	344.474.064

Total NPV (Make) = 2.159.580.630

Tabel 7. Arus Kas Make (dengan diskonto 10%)

4. Perhitungan Opsi Buy

- Setiap tahun biaya = Rp 840.000.000
- Data Opsi Buy
- Biaya sewa tongkang = Rp70.000.000/kali × 12 kali/tahun = Rp840.000.000/tahun
- Tidak ada kenaikan biaya tahunan.
- Diskonto = 10%
- Horizon waktu = 5 tahun

Tahun 1:

$$PV1 = \frac{840.000.000}{1,1} = 763.636.364$$

Tahun 2:

$$PV2 = \frac{840.000.000}{1,2} = 694.214.876$$

Tahun 3:

$$PV3 = \frac{840.000.000}{1,3} = 631.104.433$$

Tahun 4:

$$PV4 = \frac{840.000.000}{1,4} = 573.731.303$$

Tahun 5:

$$PV5 = \frac{840.000.000}{1,5} = -521.573.003$$

Tahun	Cash Flow (Rp)	Rumus Diskonto	PV (Rp)
0	0	0	0
1	840.000.000	840.000.000/1,1	763.636.364
2	840.000.000	840.000.000/1,1^2	694.214.876
3	840.000.000	840.000.000/1,1^3	631.104.433
4	840.000.000	840.000.000/1,1^4	573.731.303
5	840.000.000	840.000.000/1,1^5	521.573.003

Total NPV (Buy) = -3.184.259.979

Tabel 8. Perhitungan Opsi Buy

5. Analisis Perbandingan

- NPV Make = 2,16 M
- NPV Buy = 3,18 M

Kemudian dilanjutkan dengan analisis Break Even Point (BEP), Rate of Return (ROR), Internal Rate of Return (IRR) dan Payback Period (PP).

- a. Investasi awal: Rp150.000.000 (dari pinjaman bank)
- b. Bunga pinjaman: 13% per tahun
- c. Tenor: 3 tahun
- d. Angsuran pokok tahunan: $Rp150.000.000 \div 3 = Rp50.000.000/tahun$
- e. Bunga tahunan: $13\% \times Rp150.000.000 = Rp1.000.000/tahun$
- f. Cicilan per tahun (pokok + bunga): $Rp50.000.000 + Rp1.000.000 = Rp69.500.000/tahun$
- g. Total kewajiban ke bank (3 tahun): $Rp69.500.000 \times 3 = Rp. 208.500.000$
- h. Biaya distribusi: Rp360.000.000/tahun
- i. Biaya perawatan: Rp150.000.000/tahun
- j. Total biaya operasional Make = Rp510.000.000/tahun
- k. Total biaya Buy = Rp840.000.000/tahun
- l. Penghematan kotor = Rp330.000.000/tahun
- m. Penghematan bersih (setelah bayar cicilan bank 3 tahun pertama) = $Rp330.000.000 - Rp65.000.000 = Rp265.000.000/tahun$
- n. Total biaya Buy selama 5 tahun: Rp 3.184.259.979
Total biaya Make selama 5 tahun: Rp 2.159.580.630
- o. Persentase penghematan atau "keuntungan" rata-rata per tahun:

$$Presentase = \frac{\text{Selisih biaya Tahun 1 sampai 3}}{\text{Total biaya Buy Tahun 1 sampai 3}} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} Presentase &= \frac{794.961}{2.088.956} \times 100 \% \\ &= 38,05\% \end{aligned}$$

Dengan memilih opsi Make, perusahaan menghemat sekitar 32,2%

6. Break Even Point (BEP)

Normal: BEP = Investasi Awal \div Penghematan bersih Tahunan

$$= Rp150.000.000 \div Rp330.000.000 \approx 0,45 \text{ tahun} (\pm 5,4 \text{ bulan})$$

Jika pakai pinjaman: yang harus ditutup = total kewajiban Rp195.000.000.

$$\frac{208.500.000}{330.000.000} = 0,63 \text{ tahun} \approx 7,2 \text{ bulan}$$

Dengan pinjaman, BEP 7,1 bulan.

7. Rate of Return (ROR)

Rumus:

$$ROR = \frac{\text{Penghematan Bersih}}{\text{Kewajiban Pinjaman}}$$

$$ROR = \frac{265.000.000}{208.500.000} = 1,27 = 127\%$$

Dengan pinjaman, ROR tetap tinggi (136%), lebih besar dari bunga bank (13%) \rightarrow layak.

8. Internal Rate of Return (IRR)

Dengan pinjaman, IRR dihitung terhadap arus kas bersih setelah membayar cicilan.

- a. Tahun 1–3: Rp265.000.000 per tahun
- b. Tahun 4–5: Rp330.000.000 per tahun (karena pinjaman lunas)

IRR

Rumus = Total biaya operasional tahunan + biaya investasi \times bunga 13% = Deposito

Deposito = Rp 66.300.000

Keuntungan Tahunan = Rp 265.000.000

IRR tetap di atas bunga 13% → investasi masih sangat menarik meski pakai pinjaman.

Berdasarkan hasil perhitungan, investasi menghasilkan keuntungan tahunan sebesar Rp265.000.000, jauh lebih tinggi dibandingkan nilai setara deposito sebesar Rp66.300.000 pada tingkat bunga 13%. Hal ini menunjukkan bahwa keuntungan dari investasi ini memberikan imbal hasil yang jauh melampaui alternatif penempatan dana pada deposito, sehingga secara finansial proyek dinilai lebih menguntungkan dan tetap layak dijalankan meskipun menggunakan pembiayaan pinjaman.

9. Payback Period (PP)

Normal: $PP = \text{Rp}150.000.000 \div \text{Rp}330.000.000 = 0,45 \text{ tahun} (\sim 5,4 \text{ bulan})$.

Jika pinjaman, total kewajiban Rp195.000.000 →

$$PP = \frac{208.500.000}{265.000.000} = 0,78 \text{ tahun} \approx 9,3 \text{ bulan}$$

Dengan pinjaman PP 8,9 bulan

Pada tahun pertama, opsi Make membutuhkan investasi awal sebesar Rp150 juta untuk pembelian kompresor, ditambah biaya operasional dan perawatan sebesar Rp510 juta, sehingga total biaya mencapai Rp660 juta, jauh lebih rendah dibanding opsi Buy yang mengeluarkan Rp840 juta. Pada tahun kedua, biaya Make meningkat sedikit menjadi Rp520,8 juta akibat kenaikan biaya distribusi 3%, namun tetap lebih hemat dibanding biaya Buy yang tetap Rp840 juta, sehingga terjadi penghematan sebesar Rp319,2 juta. Tahun ketiga, biaya Make naik menjadi Rp531,92 juta, masih lebih rendah dari Rp840 juta, sehingga perusahaan menghemat sekitar Rp308 juta. Pada tahun keempat, biaya Make kembali naik menjadi Rp543,38 juta, tetapi selisih dengan biaya Buy sebesar Rp296,62 juta tetap menunjukkan efisiensi. Terakhir, pada tahun kelima, biaya Make mencapai Rp555,18 juta, lebih rendah Rp284,82 juta dari opsi Buy. Jika dilihat secara keseluruhan, meskipun biaya Make terus meningkat setiap tahun akibat inflasi distribusi, selisih efisiensi dengan opsi Buy tetap signifikan. Dengan mempertimbangkan nilai kini (discount factor 10%), total penghematan dalam 5 tahun mencapai sekitar Rp1,02 miliar, sehingga opsi Make jelas lebih menguntungkan dan layak dipilih dibandingkan opsi Buy. Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan pinjaman bank berbunga 13% per tahun, opsi *make* tetap menunjukkan kelayakan finansial yang sangat baik. Titik impas tercapai dalam waktu sekitar tujuh bulan, menandakan bahwa investasi dapat segera kembali meskipun ada tambahan beban bunga. Break Even Point (BEP) menunjukkan bahwa investasi dapat kembali dalam waktu singkat, yaitu sekitar 5,4 bulan tanpa pinjaman dan 7,1 bulan jika menggunakan pinjaman, sehingga risiko kerugian relatif rendah. Tingkat pengembalian investasi (ROR) sebesar 127% juga jauh lebih tinggi dibandingkan bunga pinjaman, sehingga setiap rupiah yang dibiayai tetap memberikan manfaat bersih yang signifikan. Selain itu, nilai (IRR) yang mencapai lebih besar dari bunga 13 % memperlihatkan bahwa proyek masih sangat menarik meskipun dibandingkan dengan biaya modal dari pinjaman bank. Adapun periode pengembalian modal (payback period) hanya sekitar 9 bulan, yang menegaskan bahwa perusahaan dapat dengan cepat menutup kewajiban pinjamannya dan menikmati penghematan biaya distribusi pada tahun-tahun berikutnya.

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa opsi memproduksi sendiri (*make*) semen OPC di PT. S lebih layak dibandingkan membeli dari pihak ketiga (*buy*), baik dari aspek operasional maupun finansial. Dari sisi operasional, keterbatasan kapasitas produksi sebesar 1.500 ton per hari dapat diatasi melalui strategi produksi dua hari sebelum keberangkatan kapal, sehingga kebutuhan 1.803 ton tetap terpenuhi tanpa mengganggu aktivitas di hari pemuatan. Simulasi distribusi menggunakan 7 trailer ISO tank dan 2 kompresor juga membuktikan bahwa seluruh proses dapat diselesaikan dalam waktu efektif 9 jam dengan siklus rata-rata 89,9 menit per trailer, sehingga risiko keterlambatan distribusi dapat diminimalkan. Dari sisi finansial, analisis NPV menunjukkan total penghematan dalam 5 tahun mencapai sekitar Rp1,02 miliar, sehingga opsi Make jelas lebih menguntungkan dan layak dipilih dibandingkan opsi Buy, meskipun terdapat investasi awal untuk kompresor. Hal ini menegaskan bahwa produksi mandiri memberikan keuntungan jangka menengah yang lebih besar. Secara keseluruhan, keputusan *make* dinilai lebih efisien, fleksibel, dan strategis bagi PT. S, sekaligus mengurangi ketergantungan pada kompetitor serta meningkatkan daya saing perusahaan.

Referensi

- [1] C. F. Br Bangun, V. Yuniar, and S. W. Bugis, "Analisis Studi Kelayakan Bisnis pada Pengembangan UMKM Usaha Tahu dan Tempe di Desa Pondok Jeruk Ditinjau dari Aspek Produksi, Aspek Pemasaran dan Aspek Keuangan," *Journal of Islamic Education Management*, vol. 2, no. 2, pp. 142–151, 2022, doi: 10.47476/manageria.v2i2.929.
- [2] D. Puspita, N. Ervina, and H. Matwar, "Analisis Studi Kelayakan Bisnis terhadap Usaha Kerupuk Sari Rasa di Desa Deli Serdang Ditinjau dari Aspek Produksi, Aspek Pemasaran dan Aspek Keuangan," *VISA Journal of Visual Ideas*, vol. 2, no. 3, pp. 218–230, 2022, doi: 10.47467/visa.v2i3.969.
- [3] A. Chaturvedi, "Contracting with Multiple Suppliers: A Multi-Item Buyer's Make Versus Buy Decision," *Production and Operations Management*, vol. 32, no. 2, pp. 434–448, 2023, doi: 10.1111/poms.13880.
- [4] M. I. A. Hidayat, "Optimalisasi Penyusunan dan Pembuatan Laporan untuk Mewujudkan Good Governance," *Hospitality*, vol. 11, no. 1, pp. 281–290, 2022.
- [5] Y. R. N. Pratiwi, "Optimalisasi Produksi Sepatu Nike pada PT Pratama Abadi Industri dengan Menggunakan Metode Program Dinamik," *Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika dan Statistika*, vol. 4, no. 1, pp. 640–651, 2023.
- [6] J. J. J. S. Rahayu, "Optimalisasi Kebijakan dalam Pengelolaan Kawasan Perbatasan (Studi Kasus: Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau)," *Jurnal Administrasi Negara*, vol. 9, 2021.
- [7] S. Indrawan, J. Suarlin, and S. Sirlyana, "Penerapan Peramalan Produksi Produk Semen di PT XYZ Guna Memenuhi Permintaan Konsumen," *Jurnal Aplikasi Rancang Teknik Industri (ARTI)*, vol. 17, no. 1, pp. 91–97, 2022, doi: 10.52072/arti.v17i1.367.
- [8] C. M. U. Y. M. V. Liefofid and I. M. Sentry, "Optimasi Biaya Distribusi Semen Menggunakan Uji Optimal Metode Stepping Stone dan Metode Modified Distribution (MODI)," *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik (JURISTEK)*, 2023.
- [9] A. I. Pratiwi et al., "Penentuan Rute Terbaik Pendistribusian Produk Wafer dengan Metode Algoritma Genetika (Studi Kasus di Perusahaan Jasa Pergudangan Produk Wafer Karawang)," *Jurnal Integrasi Sistem Industri (JISI)*, vol. 10, no. 2, pp. 69–75, 2023, doi: 10.24853/jisi.10.2.69–75.
- [10] F. Latief, "Analisis Perencanaan Produksi dengan Metode Linear Programming Guna Memaksimalkan Keuntungan," *Economics and Digital Business Review*, vol. 4, no. 1, pp. 383–397, 2023.
- [11] Z. Darwis, H. B. B. Kuncoro, and J. Sitorus, "Perencanaan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Superplasticizer Ligno C-491 dan Kombinasi Ordinary Portland Cement (OPC) dengan Semen Slag," *Fondasi Jurnal Teknik Sipil*, vol. 11, no. 2, pp. 179–188, 2022, doi: 10.36055/fondasi.v11i2.17147.
- [12] A. H. H. Syamsuri, "Perancangan Simulator Kompresor Torak untuk Media Pembelajaran," *Jurnal Mesin Galuh*, vol. 1, no. 1, pp. 1–23, 2023.
- [13] S. Andalucia, "Operasi dan Troubleshooting Gas Compressor di Stasiun Kompresor Gas (SKG) Lembak PT Pertamina Hulu Rokan Region 1 Zona 4," *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, vol. 2, no. 5, pp. 1–23, 2023.
- [14] N. L. Rachmawati and P. A. Dianisa, "Model Simulasi Sistem Diskrit untuk Meminimasi Rata-Rata Waktu Tunggu Truk (Studi Kasus PT. XYZ)," *Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Industri (JURMATIS)*, vol. 4, no. 2, pp. 122–130, 2022, doi: 10.30737/jurmatis.v4i2.2371.
- [15] L. A. Okatria and R. D. Kusumastuti, "Analisis Kinerja Sistem Produksi pada Industri Produsen Tahu Bandung dengan Pendekatan Simulasi Event Diskrit: Studi Kasus pada Tahu Bandung ALN," *Jurnal Inovasi Pangan dan Gizi*, vol. 1, no. 1, pp. 8–20, 2024, doi: 10.61511/jipagi.v1i1.741.