

OPTIMALISASI PERENCANAAN PRODUKSI DAN ANALISA POTENSI USAHA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH DAN BOTTOM ASH

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PLANNING AND BUSINESS POTENTIAL ANALYSIS OF FLY ASH AND BOTTOM ASH-BASED GEOPOLYMER CONCRETE

Muhammad Faiz Shafiyurrahman^{1*}, Nurkhamim¹, Shofa Rijalul Haq¹, Edy Nursanto¹,
Muhammad Syukron², Faricha Nur Karima³

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Departemen Teknik Pertambangan,
Fakultas Mineral Teknologi dan Energi, Universitas Pembangunan Nasionan "Veteran" Yogyakarta

²Program Studi Teknik Metalurgi, Departemen Teknik Pertambangan,
Fakultas Mineral Teknologi dan Energi, Universitas Pembangunan Nasionan "Veteran" Yogyakarta

³Program Studi Geografi Lingkungan, Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi,
Universitas Gadjah Mada

Corresponding author: muhammad1faiz29@gmail.com

Cara sitasi: M. F. Shafiyurrahman, Nurkhamim, S. R. Haq, E. Nursanto, M. Syukron, dan F. N. Karima. "Optimalisasi Perencanaan Produksi dan Analisa Potensi Usaha Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash dan Bottom Ash", *Kurvatek*, vol. 10, no. 1, pp. 67-72, April 2025. doi: [10.33579/krvtk.v10i1.5552](https://doi.org/10.33579/krvtk.v10i1.5552) [Online].

Abstract — Beton berbasis dry geopolimer dari fly ash (FA) dan bottom ash (BA) telah banyak dikembangkan dengan tujuan kemajuan infrastruktur demi membangun industri keberlanjutan dari pemanfaatan limbah tersebut. Perencanaan pembangunan usaha produksi produk turunan beton perlu dilakukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan anggaran, stock Gudang, dan keuntungan. Produk turunan yang digunakan dalam penelitian ini adalah paving block, batako, dan kanstin dengan standar kuat tekan masing-masing 25 MPa, 10 MPa dan 30 MPa. Berdasarkan standar kuat tekan tersebut rasio FA:BA masing-masing produk berturut-turut 3:1; 1:1; dan 1:0 [1]. Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk memaksimalkan laba dengan optimalisasi produksi dan bahan baku berdasarkan perhitungan metode simplex linear programming dan melakukan studi kelayakan usaha menggunakan metode SWOT. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh usaha difokuskan pada produk paving block dengan jumlah produksi 431 pcs/jam dengan total kebutuhan bahan baku fly ash 1,199 ton/jam dan bottom ash 0,399 ton/jam dengan total keuntungan Rp 172.413. Berdasarkan uji kelayakan produk beton dry geopolimer menggunakan metode SWOT dapat dikatakan berpeluang besar dengan kelebihanannya.

Keywords: Beton, FABA, Metode simplex, Optimasi, SWOT

Abstract — Dry geopolimer-based concrete from fly ash and bottom ash has been widely developed with the aim of advancing infrastructure to build a sustainable industry from the utilization of such waste. Planning for the construction of a concrete derivative product production business needs to be carried out to optimize the utilization of the budget, warehouse stock, and profit. The derivative products used in this study are paving blocks, adobes, and kanstin with compressive strength standards of 25 MPa, 10 MPa and 30 MPa respectively. Based on the compressive strength standard, the FA:BA ratio of each product is successively 3:1; 1:1; and 1:0 [1]. Therefore, the purpose of this study is to maximize profits by optimization production and raw materials based on calculations simplex linear programming method and conducting business feasibility studies using the SWOT method. Based on the calculation results, the business was focused on paving block products with a total production of 431 pcs/h. with total raw material needs of fly ash 1,199 tons / hour and bottom ash 0,399 tons / hour with a total profit of IDR 172,413. Based on the feasibility test of dry geopolimer concrete products using the SWOT method, it can be said to have great opportunities with its advantages.

Keywords: Concrete, FABA, Optimization, Simplex method, SWOT

I. PENDAHULUAN

Pengembangan penelitian beton geopolimer basis fly ash dan bottom ash (FABA) telah banyak dilakukan dengan tujuan kemajuan di bidang industry manufaktur dan mengurangi limbah sebagai produk beton cetak (paving, batako, genteng, kanstein), seperti yang dilakukan Adelizar dkk (2020) [2]. Hal ini di dukung dengan total ketersediaan sumberdaya alam batubara yang mencapai 99,2 milyar ton dengan total cadangan 35,05 milyar ton di tahun 2022 yang merupakan sumber FABA menurut Badan Geologi.

Sebagai langkah awal pembangunan usaha dengan persaingan yang ketat di era pasar bebas perlu dilakukan perencanaan matang untuk memaksimalkan keuntungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam mengurangi kerugian adalah pengendalian persediaan raw material dengan mengatur perencanaan pengadaan barang yang tersedia di gudang, sehingga tidak ada bahan baku berlebih atau kekurangan di dalam gudang. Raw material berlebih dapat meningkatkan biaya penyimpanan dan biaya perawatan produk, sedangkan raw material yang kurang dapat menghambat jalannya operasi proses [3]. Kelebihan raw material sering terjadi di Industri, seperti yang terjadi di perusahaan PT Hans [4]. Untuk memecahkan masalah safety stock, reorder point, dan maximum inventory metode Linear Programing dapat digunakan dengan data yang di sesuaikan [4].

Program linear telah banyak dilakukan untuk melakukan optimalisasi keuntungan produksi dengan berbagai cara perencanaan pengadaan barang, seperti yang dilakukan Santoso & Sukmono (2022), Apriliyanti (2018), Iriani (2012), Kurniawati (2019) [4,5,6,7]. Dalam penelitian ini objek yang diambil merupakan technology baru yang memiliki potensi besar kedepannya mengingat termasuk upaya peningkatan nilai limbah sebagai produk tepat guna. Penelitian ini di tujukan untuk mengoptimalkan keuntungan dengan mencegah terjadinya penumpukan raw material menggunakan metode program linear. Program linear dapat membantu dalam mengambil keputusan berkaitan dengan alokasi sumber daya melalui metode simplex [5]. Dari penjelasan di atas, dapat diformulasikan permasalahan dalam penelitian ini, yaitu bagaimana mengelola persediaan raw material agar jumlah stok yang diperlukan sesuai dengan permintaan, menghindari kekurangan atau kelebihan stok bahan baku untuk memperoleh laba maksimal. Hal ini akan dilakukan melalui penerapan metode linear programming. Sementara itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan jumlah optimal stok produk dan bahan baku berdasarkan perhitungan linear programming. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pandangan yang jelas bagi startup Perusahaan beton FABA Basis Dry Geopolymer dalam melakukan pemesanan stok persediaan.

II. METODE PENELITIAN

A. Pengolahan Data

Linear programming merupakan Teknik perencanaan analisis kuantitatif dengan model matematis untuk menemukan alternative pemecahan masalah optimasi baik maksimasi atau minimasi dengan batasan tertentu [8]. Dalam penggunaannya metode ini memiliki persyaratan yang harus dipenuhi [9]:

1. Penyelesaian masalah optimasi maksimasi dan minimasi kuantitatif.
2. Terdapat batasan sebagai persyaratan atau hambatan optimasi.
3. Memiliki fleksibilitas atau hasil alternatif yang dipilih.
4. Fungsi tujuan dan batasan dalam bentuk notasi persamaan linear.

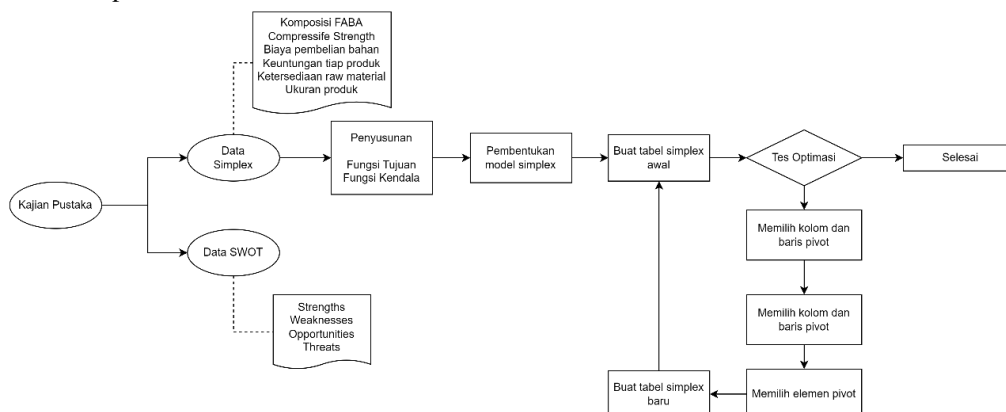
Terdapat dua metode yang digunakan untuk meyelesaikan masalah linear programming yaitu, metode grafik dan metode simpleks. Pada metode ini akan digunakan metode simpleks dikarenakan memiliki lebih dari dua variable keputusan atau produk.

B. Metode Simplex

Berikut merupakan langkah optimasi menggunakan metode simpleks:

1. Mengidentifikasi variable keputusan dan ubah dalam bentuk model matematis.
2. Identifikasi fungsi tujuan dan ubah dalam bentuk model matematis.
3. Ubah pertidaksamaan menjadi persamaan dengan penambahan variable slack.
4. Masukkan nilai fungsi dalam tabel simpleks dan tentukan nilai C (angka masing-masing kolom yang dikalikan koefisien dasar).
5. Cari kolom kunci, baris kunci, dan angka kunci.
6. Ubah variable keputusan baris kunci dengan kolom kunci dan merubah elemen baris kunci dengan cara membagi dengan angka kunci.
7. Ubah nilai baris lain selain baris kunci.
8. Pastikan seluruh elemen baris tidak ada yang negative, apabila terdapat nilai negative dapat dilakukan iterasi pencarian kolom kunci kembali.

9. Jika tidak ditemukan nilai negatif, maka perhitungan atau iterasi telah selesai dan di dapat nilai dan kondisi optimum.



Gambar 1. Overview flow metodologi

C. Metode SWOT

Dalam pendekatan kelayakan produk beton dry geopolimer akan dilakukan analisis SWOT yang terdiri dari Strength (Kekuatan/S), Weakness (Kelemahan/W), Opportunity (Kesempatan/O), Threats (Ancaman/T). Melalui SWOT diharapkan akan membantu menilai dan melakukan penentuan tindakan terhadap kelemahan atau ancaman yang dimiliki oleh produk serta melihat kekuatan dan kesempatannya dalam lingkup tertentu [10].

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Studi Komposisi Produk Beton dan Penentuan Produk Dominan

Studi komposisi produk beton digunakan untuk mencari informasi terkait komposisi optimal yang digunakan dalam pembentukan beton dry geopolimer dari FABA untuk masing-masing standar kriteria produk dan pengambilan informasi data ini akan dijadikan sebagai data perumusan masalah dan trouble shooting kasus yang terjadi. Studi komposisi ini penting untuk menyiapkan informasi dan data penyelesaian permasalahan program linear. Data yang dibutuhkan adalah ketersediaan raw material sebagai kapasitas produksi usaha tiap harinya, dimana dalam penelitian akan disesuaikan dengan sumber bahan penelitian yang dilakukan Adelizar dkk (2020) yaitu PT X Bottom ash dan Fly ash tipe C [2]. PT X sendiri menghasilkan 7,5 ton/jam fly ash dan 2,5 ton/jam bottom ash tiap jamnya. Berdasarkan penelitian Adelizar dkk (2020) untuk 1 sampel 5x5x5 cm3 dibutuhkan total FABA 290 gram dan activator 72,5 gram [2]. Komposisi FABA ini kemudian disesuaikan dengan standar kuat tekan dan ukuran standar masing-masing produk. Asumsi keuntungan akan di sesuaikan dengan harga masing-masing produk di pasaran. Anggaran yang tersedia diambil dari biaya yang digunakan untuk menangani limbah FABA sebesar Rp 4,3 trilion (antaranews.com). Activator merupakan gabungan dari limbah silika geothermal dan NaOH flakes dengan komposisi sama [1].

Analisis optimasi dilakukan dengan metode simpleks liner programming terbukti memiliki tingkat keberhasilan tinggi. Data kuantitatif yang diperoleh adalah kebutuhan bahan FABA dan aktivator untuk tiap produk, estimasi biaya bahan, dan data keuntungan untuk tiap produknya. Berikut table data yang diperoleh melalui studi literatur.

Tabel 1. Jenis Produk, Keuntungan, dan Kapasitas

Bahan	Jenis Produk (Standar Kuat Tekan)			Kapasitas
	Paving Block (25 MPa)	Batako (10 MPa)	Kanstein (30 MPa)	
Fly ash (gr)	2784	9280	69600	7,5 (ton)
Bottom ash (gr)	928	9280	0	2,5 (ton)
Activator (gr)	928	4640	17400	0,4 (ton)
Biaya Bahan FABA	Rp 1500,54	Rp 5113,28	Rp 37096,80	Rp 4,3 trillion
Keuntungan/unit	Rp 400	Rp 800	Rp 2000	-

Ket: Harga fly ash= Rp 533/kg; bottom ash= Rp 18/kg; Laba sesuai produk di pasaran (Iriani. 2012) [5]

Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis perencanaan produksi agar inovasi dapat di implementasikan dengan keuntungan sebesar-besarnya dari beberapa Kendal. Persamaan yang digunakan

sebagai fungsi tujuan adalah $Z = 400 X_1 + 800 X_2 + 2000 X_3$. Dari Tabel. 1 dapat disusun fungsi kendala sebagai penyelesaian linear programming sebagai berikut:

- 1) $2784 X_1 + 9280 X_2 + 69600 X_3 \leq 7,5 \times 10^6$
- 2) $928 X_1 + 9280 X_2 + 0 X_3 \leq 2,5 \times 10^6$
- 3) $928 X_1 + 4640 X_2 + 17400 X_3 \leq 0,4 \times 10^6$
- 4) $1500,54 X_1 + 5113,28 X_2 + 37096,80 X_3 \leq 4,3 \times 10^{12}$

Dengan,

Z = Profit (Fungsi tujuan)
 X_1 = Paving block (pcs)
 X_2 = Batako (pcs)
 X_3 = Kanstein (pcs)

Persamaan di atas kemudian disusun dalam formulasi model simplex untuk iterasi pertama.

Fungsi tujuan:

$$Z - 400 X_1 - 800 X_2 - 2000 X_3 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 0$$

Fungsi kendala:

- 1) $2784 X_1 + 9280 X_2 + 69600 X_3 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \leq 7,5 \times 10^6$
- 2) $928 X_1 + 9280 X_2 + 0 X_3 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \leq 2,5 \times 10^6$
- 3) $928 X_1 + 4640 X_2 + 17400 X_3 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \leq 0,4 \times 10^6$
- 4) $1500,54 X_1 + 5113,28 X_2 + 37096,80 X_3 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \leq 4,3 \times 10^{12}$

Langkah berikutnya ubah formulasi di atas dalam Tabel. 2 iterasi pertama sebagai berikut:

Tabel 2. Iterasi Pertama

Cb	B	400 X ₁	800 X ₂	2000 X ₃	0 S ₁	0 S ₂	0 S ₃	0 S ₄	NK	R
0	S ₁	2784	9280	69600	1	0	0	0	$7,5 \times 10^6$	107,76
0	S ₂	928	9280	0	0	1	0	0	$2,5 \times 10^6$	∞
0	S ₃	928	4640	17400	0	0	1	0	$0,2 \times 10^6$	22,99
0	S ₄	1500,54	5113,28	37096,80	0	0	0	1	$4,3 \times 10^{12}$	1159,13
Zi - Ci			-400	-800	-2000	0	0	0	0	0

Tabel 3. Iterasi Kedua

Cb	B	400 X ₁	800 X ₂	2000 X ₃	0 S ₁	0 S ₂	0 S ₃	0 S ₄	NK	R
0	S ₁	-928	-9280	0	1	0	-4	0	$6,7 \times 10^6$	-721,98
0	S ₂	928	9280	0	0	1	0	0	$2,5 \times 10^6$	269,4
2000	X ₃	0,05	0,27	1	0	0	0	0	11,49	431,03
0	S ₄	-478,51	-4779,5	0	0	0	-2,13	1	$4,2 \times 10^{12}$	-88080,1
Zi - Ci		-293,33	-266,67	0	0	0	0,11	0	22988,51	

Tabel 4. Iterasi Ketiga

Cb	B	400 X ₁	800 X ₂	2000 X ₃	0 S ₁	0 S ₂	0 S ₃	0 S ₄	NK
0	S ₁	0	-4640	17400	1	0	-3	0	6300000
0	S ₂	0	4640	-17400	0	1	-1	0	2100000
400	X ₁	1	5	18,75	0	0	0	0	431,03
0	S ₄	0	-2387	8972	0	0	-1,62	1	$4,31 \times 10^{12}$
Zi - Ci		0	1200	5500	0	0	0,43	0	172413,79

Jadi

berdasarkan iterasi ketiga pada Tabel. 4 diperoleh,

$Z = \text{Rp } 172.413,-/\text{jam}$

Dimana,

$X_1, X_2, X_3 = (431; 0; 0)$

Dalam poses pembakaran Batubara di PT X terdapat limbah FAB A yang dinilai dapat dimanfaatkan sebagai alternatif beton tahan terhadap kondisi ekstrim dengan prediksi mencapai 10 ton/jam dengan rasio FA:BA 3:1 melalui metode dry geopolymerisasi. Proses ini dengan mencampurkan aktivasi berupa NaOH dan silika sludge hasil scaling dari pembangkit geothermal PT XX. Melalui system ini beton memiliki ketahanan yang lebih baik mengingat material yang digunakan terhadap kondisi ekstrim seperti temperature tinggi dan pH rendah. Dalam hal ini pemanfaatan limbah dioptimalkan menggunakan metode simplex untuk mendapat keuntungan terbesar dengan batasan-batasan tertentu.

Berdasarkan Tabel. 4, iterasi ke-tiga perhitungan model simplex menunjukkan kondisi optimal keuntungan dalam memproduksi beton dengan produk hanya paving block sebanyak 431 pcs/jam mencapai Rp 172.413 /jam. Oleh sebab itu bahan baku FABA yang dibutuhkan berturut-turut sebesar 1,199 ton/jam dan 0,399 ton/jam. Namun dalam perencanaannya untuk memperoleh keuntungan maksimal pendirian usaha perlu memperhatikan permintaan untuk mencegah terjadinya penumpukan produk paving block yang dapat menimbulkan kerugian.

B. Studi Kelayakan Beton Dry Geopolymer dengan metode SWOT

Tinjauan kelayakan produk beton dry geopolymer dengan metode SWOT akan difokuskan pada kegiatan produksi dan kualitas produk sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam pemilihan alternatif penghematan biaya dan efisiensi waktu. Identifikasi akibat faktor internal dan eksternal akan dilakukan.

Identifikasi faktor internal digunakan untuk melakukan analisis lingkungan internal yang ada atau rencana pelaku usaha diamati dari kekuatan dan kelemahannya. Sedangkan faktor eksternal merupakan peluang bahaya yang ditimbulkan dari lingkungan eksternal atau diluar pelaku pendiri usaha. Berikut disajikan hasil matirks analisis kelayakan produk beton dry geopolymer dengan metode SWOT pada Tabel. 5.

Tabel 5. Jenis Produk, Keuntungan dan Kapasitas

Faktor Internal		Strengths (S)	Weakness (W)
		1. Kualitas produk terjamin 2. Produk dapat bertahan di kondisi ekstrim 3. Dapat mengurangi limbah FABA dan silika sludge 4. Lebih ramah lingkungan di bandingkan beton konvensional akibat gas emisi proses pembentukannya 5. Ketersediaan FABA terjamin 6. Proses aktivasi beton mudah 7. Biaya produksi lebih ekonomis dibanding beton konvensional 8. Dilengkapi dengan patten	1. Ketersediaan silika sludge terbatas 2. Perlu biaya tambahan untuk pengangkutan silika sludge ke lokasi proyek 3. Komposisi harus tepat untuk memperoleh kualitas yang sesuai
Faktor Eksternal		Strategi (SO)	Strategi (WO)
Opportunities (O) 1. Kepadatan penduduk tinggi 2. Konstruksi sederhana seperti beton konvensional 3. Konsep green building tahap konstruksi dan operasi 4. Indonesia sedang fokus dalam pembangunan infrastruktur		• Peningkatan kualitas dengan kemajuan teknologi. (S1, S3, S6, S7, S8, O2, O3, O4) • Meningkatkan motivasi kinerja karyawan dengan kompensasi yang lebih besar (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, O1, O2, O3, O4) • Meningkatkan keterampilan dan kerja tim. (S6, O4).	• Pengembangan teknologi semakin meningkatkan produktifitas dan ramah lingkungan. (W1, W2, W3, O2, O3, O4) • Rencana Pembangunan proyek tidak terfokus di sekitar PT X, namun dilakukan di perusahaan penghasil FABA lainnya. (W2, O1, O4)
		Strategi (ST)	Strategi (WT)
Threats (T) 1. Teknologi baru, sehingga mungkin muncul tantangan baru dalam perjalanannya 2. Lokasi proyek ditentukan dari letak raw material utama penyusun beton (FABA)		• Menjaga karakteristik produk (poin unik dalam produk). (S1, S2, S6, T1) • Mengenalkan keunggulan produk. (S2, S3, S4, T1) • Penyampaian emsi yang berkurang dari pemakaian beton dry geopolymer. (S4, T1) • Pengalihan biaya yang dihemat diubah ke mobilitas beton. (S7, T2)	• Jarak proyek terhadap seluruh raw material di optimasi agar biaya seminimal mungkin. (W1, W2, T2) • Menggunakan teknologi dengan ketelitian tinggi dan memberikan pelatihan pada tenaga kerja. (W3, T1)

Melalui metrik Tabel-5, diperoleh strategi untuk menghadapi kelemahan dan tantangan melalui pencocokan kelebihan dan kesempatan sebagai berikut:

Strategi (SO)

- a) Peningkatan kualitas dengan kemajuan teknologi. (S1, S3, S6, S7, S8, O2, O3, O4)
- b) Meningkatkan motivasi kinerja karyawan dengan kompensasi yang lebih besar (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, O1, O2, O3, O4)
- c) Meningkatkan keterampilan dan kerja tim. (S6, O4)

Strategi (WO)

- a) Pengembangan teknologi semakin meningkatkan produktifitas dan ramah lingkungan. (W1, W2, W3, O2, O3, O4)
- b) Rencana Pembangunan proyek tidak terfokus di sekitar PT X, namun dilakukan di perusahaan penghasil FABA lainnya. (W2, O1, O4)

Strategi (ST)

- a) Menjaga karakteristik produk (poin unik dalam produk). (S1, S2, S6, T1)
- b) Mengenalkan keunggulan produk. (S2, S3, S4, T1)

- c) Penyampaian emsi yang berkurang dari pemakaian beton dry geopolymer. (S4, T1)
- d) Pengalihan biaya yang dihemat diubah ke mobilitas beton. (S7, T2)
Strategi (WT)
- a) Jarak proyek terhadap seluruh raw material di optimasi agar biaya seminimal mungkin. (W1, W2, T2)
- b) Menggunakan teknologi dengan ketelitian tinggi dan memberikan pelatihan pada tenaga kerja. (W3, T1)

IV. KESIMPULAN

Penerapan model simplex linear programming pada rencana pendirian usaha beton untuk menciptakan zero waste concept for green technology dapat dilakukan dalam optimalisasi keuntungan terhadap produk yang akan di buat. Hasil perhitungan diperoleh dengan memproduksi paving block sebanyak 431 pcs/jam akan memperoleh keuntungan hingga Rp 172.413,-. Dengan campuran rasio paving block FA:BA 3:1 yang memberikan kuat tekan 25 MPa sesuai dengan standar compressive strength paving block. Selain itu, berdasarkan SWOT didapatkan strategi SO, strategi WO, strategi ST, strategi WT. Alternatif strategi dapat digunakan untuk menangani tantangan atau menutup kelemahan yang mungkin akan dialami dalam produksi beton geopolymer. Namun, dalam penelitian ini perlu dikaji perencanaannya terhadap permintaan produk turunan beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta dan pihak-pihak yang telah membantu dalam kegiatan penelitian ini, sehingga proses penelitian dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. T. B. M. Petrus, F. I. Fairuz, N. Sa’adan, M. Olvianas, W. Astuti, S. N. A. Jenie, F. A. Setiawan, F. Anggara, J. J. Ekaputri, dan I. M. Bendiyasa, “Green Geopolymer Cement with Dry Activator from Geothermal Sludge and Sodium Hydroxide”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 293, pp. 126143, 2021.
- [2] A. S. Adelizar, M. Olvianas, D. M. Adythia, M. F. Syafiyurrahman, I. G. Pratama, W. Astuti, dan H. T. B. M. Petrus, “Fly Ash and Bottom Ash Utilization as Geopolymer: Correlation on Compressive Strength and Degree of Polymerization Observed using FTIR”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 742, no. 1, p. 1, 2020.
- [3] M. Amin dan Delvina, “Analisis Pengendalian Persediaan Bahan Baku Dengan Safety Stock Optimum”, *Forum Ekonomi*, vol. 23, no. 3, pp. 553–560, 2021.
- [4] M. T. Santoso dan T. Sukmono, “Analysis of Optimization of Raw Material Inventory Control Using the Linear Programming Method”, *UMSIDA Preprints Server*, 2023. doi: <https://doi.org/10.21070/ups.3360>.
- [5] S. Apriliyanti, “Optimasi Keuntungan Produksi pada Industri Kayu PT. Indopal Harapan Murni Menggunakan Linear Programming”, *PASTI*, vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [6] Iriani, *Efektivitas Perencanaan Produksi dengan Pendekatan De NOVO Programming*, Surabaya: UPN “Veteran” Jawa Timur, 2012. ISBN 978-602-9372-30-4.
- [7] N. Kurniawati, “Pengendalian Persediaan Bahan Baku dalam Mengefisiensikan Biaya Persediaan dengan Metode Linear Programming”, *Rekayasa Teknik Sipil*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [8] Aminudin, *Prinsip-prinsip Riset Operasi*, Jakarta: Erlangga, 2015.
- [9] J. Heizer dan R. Barry, *Manajemen Operasi: Manajemen Keberlangsungan dan Rantai Pasokan*, edisi 11, Jakarta: Salemba Empat, 2015.
- [10] Adelita, M. Hubeis, dan D. Kadarisman, “Kelayakan dan Strategi Pengembangan Usaha Pembudidayaan Tanaman Hias di Kompleks Perumahan Bekasi (Kasus Usaha Tanaman Hias Adenium pada Lahan Terbatas)”, *Manajemen IKM*, vol. 5, no. 2, pp. 32–41, 2010.



©2025. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).