

OPTIMASI JUMLAH PRODUKSI BAJA TULANGAN DENGAN METODE *LINEAR PROGRAMMING*

Kenny¹ dan Iwan B. Santoso²

¹*Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S Parman No.1 Jakarta
Email: kenny_it7a@yahoo.com*

²*Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S Parman No.1 Jakarta
Email: iwsantoso@hotmail.com*

ABSTRAK

Kegiatan dalam proses produksi tidak terlepas dari perencanaan produksi. PT Jakarta Cakratunggal Steel Mills adalah salah satu perusahaan yang turut berperan dalam penyediaan baja tulangan. Proses produksi baja tulangan ini wajib melalui beberapa tahapan dan harus memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI). Optimasi perencanaan produksi membutuhkan pola permintaan yang tepat dan disertai dengan kendala – kendala untuk dapat menghasilkan baja tulangan yang berkualitas baik, sesuai target perusahaan dengan biaya produksi yang minimum. Sebelum menganalisa perencanaan produksi ini, peramalan deret waktu dihitung dengan metode peramalan dekomposisi multiplikatif sebagai dasar penentuan jumlah permintaan di masa yang akan datang. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah pemrograman linier karena dapat melakukan perhitungan iterasi secara cepat dan tepat sehingga perencanaan produksi dapat terselesaikan dengan mudah. Pemrograman linier dapat menganalisis berbagai kendala yang terkait dengan situasi kehidupan nyata di perusahaan dan memberikan solusi terbaik meskipun dalam kondisi seperti itu. Penelitian ini menggunakan 18 jenis tulangan yang diproduksi untuk dilakukan perencanaan selama 1 tahun ke depan. Kendala – kendala yang berpengaruh dalam optimasi produksi ini adalah jumlah permintaan, persediaan efektif, jam kerja reguler dan lembur, kapasitas jumlah produksi, kecepatan produksi dan ketersediaan baja tulangan di gudang. Dengan menggunakan metode ini didapatkan total biaya perencanaan produksi selama 1 tahun yaitu jika menggunakan 3 shift membutuhkan biaya sebesar Rp 1.301.490.788.783,-; untuk skenario 1 dengan 2 shift sebesar Rp 1.302.327.073.616,- dan untuk skenario 2 dengan 2 shift jam lembur terbatas, produksi tidak dapat memenuhi permintaan perusahaan. Perbedaan ini sebagai akibat dari pengaruh total jam kerja dan kecepatan produksi setiap jenis ukuran tulangan.

Kata kunci: Baja Tulangan, Perencanaan, Produksi, Metode Pemrograman Linier

1. PENDAHULUAN

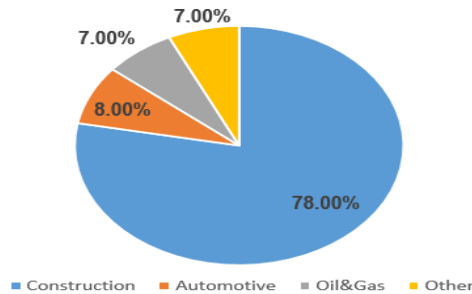
Latar Belakang

Masalah produksi adalah masalah yang rumit dan sangat perlu diperhatikan oleh setiap perusahaan karena membutuhkan koordinasi yang baik dari setiap elemen perusahaan. Kelancaran produksi di dalam suatu perusahaan tergantung pada perencanaan seberapa banyak barang yang perlu dihasilkan, bahan material mentah yang digunakan, dan sumber daya manusia yang turut berperan dalam kegiatan proses produksi dari awal sampai barang jadi (Hutajulu, 2010). Untuk itu diperlukan perhatian khusus dalam setiap proses produksi dan pengendalian dari kontrol produksi itu sendiri sehingga tidak menghasilkan stok barang yang berlebihan.

Sektor industri yang akan dibahas disini adalah tentang industri baja karena sektor ini sangat berpengaruh terhadap perkembangan manufaktur yang nyata. Baja merupakan salah satu komponen utama untuk keperluan pembangunan dalam negeri, seperti gedung bertingkat, mesin pabrik, otomotif dan lain – lain.

Proses aliran produksi perusahaan besi dan baja memiliki suatu fitur teknis yaitu *multi link* dan proses yang sangat rumit dalam pembuatannya karena meliputi prosedur dari kerja sebelum pembuatan sampai dengan proses jadi yang saling berhubungan erat. Faktor kendala dalam proses produksi ini sangat bergantung pada jenis bahan baku yang digunakan, produk setengah jadi dan produk akhir yang terlihat dari hasil produksi. Dari penelitian yang telah dilakukan (Shao, et al., 2007) dalam makalahnya yang berjudul *Theory and Method of Production Logistics Plan Optimizing for an Iron and Steel*, dapat diketahui bahwa proses logistik dari produksi ini memiliki beberapa masalah yang berkaitan dengan tingkat pelaksanaan yang rendah, kapasitas penyimpanan dan lain – lain. Sebagai basis inti dari manajemen logistik produksi, rencana logistik dari produksi memiliki arti penting dalam meningkatkan kemampuan manajemen logistik perusahaan tersebut.

Berdasarkan bagan pembagian konsumsi baja menurut *Indonesian Iron and Steel Industry Association* (2017) yang dapat dilihat pada gambar 1, mayoritas konsumsi baja di Indonesia adalah di bidang konstruksi dengan nilai 78%, kemudian diikuti oleh sektor otomotif yang berkisar 8% dan untuk sektor minyak dan gas berada pada posisi yang ketiga sebesar 7% dan untuk kegunaan lainnya juga sebesar 7%.



Gambar 1. Pembagian Konsumsi Baja di Indonesia

Metode *linear programming* adalah metode perhitungan matematika yang tepat untuk memecahkan permasalahan yang rumit ini karena dapat berfungsi sebagai alat pengambilan keputusan yang membantu perusahaan untuk mengkombinasikan variasi produk yang ada berdasarkan keterbatasan sumber daya yang dimiliki perusahaan. Dengan demikian, penggunaan metode ini diharapkan agar perusahaan dapat menghasilkan jumlah produksi yang tepat sehingga dapat memenuhi permintaan pasar dan menciptakan nilai pelanggan.

Identifikasi Masalah

Berdasarkan pembahasan pada bagian sebelumnya, masalah yang akan dijadikan bahan penelitian yaitu biaya produksi baja tulangan yang sangat mahal sebagai pengaruh dari faktor – faktor kendala di dalam sebuah perusahaan.

Rumusan Masalah

Sebagai upaya melakukan optimasi untuk produksi baja tulangan maka masalah yang ingin dipecahkan adalah bagaimana perencanaan produksi baja tulangan yang tepat agar dapat mencapai target produksi dengan biaya yang minimum.

Tujuan Penelitian

1. Membuat pemodelan *linear programming* agar dapat mengkaji perencanaan produksi baja tulangan yang tepat sehingga target produksi dapat tercapai.
2. Menganalisis hasil optimasi produksi baja tulangan.

Batasan Penelitian

1. Metode perhitungan yang digunakan adalah *linear programming*.
2. Permasalahan mengenai produksi baja yang digunakan terbatas pada baja tulangan.
3. Semua data yang didapat untuk penelitian berasal dari perusahaan pabrik baja PT Jakarta Cakratunggal Steel Mills yang berlokasi di Jakarta Timur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Produksi

Menurut Gaspersz (2004), produksi merupakan fungsi pokok dalam setiap organisasi, yang mencakup aktivitas yang bertanggung jawab untuk menciptakan nilai tambah produk yang merupakan *output* dari setiap organisasi industri ini.

Baja Tulangan

Baja tulangan (besi beton) adalah baja yang digunakan untuk penulangan konstruksi beton atau lebih dikenal dengan beton bertulang. Baja tulangan ini memiliki bentuk seperti batang perampang lingkaran yang diproduksi dari bahan baku *billet* dengan cara *hot rolling*. Berdasarkan bentuknya, baja tulangan beton ini dapat dibedakan menjadi dua

jenis yaitu baja tulangan beton polos dan baja tulangan beton sirip (tulangan ulir) (Badan Standarisasi Nasional, 2014).

Peramalan

Menurut Gaspersz (2004), aktivitas peramalan adalah suatu fungsi bisnis yang berusaha memperkirakan permintaan dan penggunaan produk sehingga produk – produk itu dapat dibuat dalam kuantitas yang tepat. Jadi peramalan disini merupakan suatu taksiran yang ilmiah yang dilakukan dengan melibatkan data masa lalu dan menempatkannya ke masa yang akan datang dengan suatu bentuk model matematis meskipun akan terdapat sedikit kesalahan yang disebabkan oleh adanya keterbatasan kemampuan manusia.

Metode Peramalan Deret Waktu (*Time-Series*)

Menurut Prasetya dan Lukiastruti (2009) *time-series* didasarkan pada waktu yang berurutan atau yang berjarak sama (mingguan, bulanan, kuartalan, dan lainnya). Analisis runtun waktu mencoba untuk meramalkan kejadian – kejadian di waktu yang akan datang atas dasar serangkaian data di masa lalu.

Metode *Trend*

Menurut Sharma (2007), *trend* adalah sebuah arah umum jangka panjang (keatas, kebawah atau konstan) dari sebuah iklim bisnis dalam suatu periode beberapa tahun. Proyeksi dari sebuah metode tren cocok dengan sebuah garis tren dari deret urutan waktu dan proyek – proyek peramalan jangka menengah hingga panjang.

Metode Pemulusan Eksponensial (*Exponential Smoothing*)

Menurut Prasetya dan Lukiastruti (2009), metode ini adalah suatu tipe teknik peramalan rata – rata bergerak yang melakukan penimbangan terhadap data masa lalu dengan cara eksponensial sehingga data paling akhir mempunyai bobot atau timbangan lebih besar dalam rata – rata bergerak. Dengan *exponential smoothing* sederhana, *forecast* dilakukan dengan cara ramalan periode terakhir ditambah porsi perbedaan (disebut α) antara permintaan nyata periode terakhir dan ramalan periode terakhir.

Metode Dekomposisi

Menurut Herjanto (2008), metode ini mengidentifikasi tiga komponen pola dasar yang terdapat dalam suatu *serial* data, yaitu *trend*, musiman dan siklus, dan menggunakannya untuk peramalan. Faktor *trend*, yang mewakili perilaku dalam jangka panjang, dapat berupa garis lurus yang menaik, menurun atau mendatar, atau dalam beberapa situasi tertentu dapat berupa garis eksponensial atau bentuk lain. Faktor musiman berkaitan dengan fluktuasi berkala dengan panjang yang konstan dan kedalaman yang proporsional, yang dapat disebabkan oleh faktor cuaca, musim liburan, hari gajian dan sebagainya. Faktor siklus mewakili kemajuan atau kemunduran yang disebabkan oleh kondisi perekonomian atau kondisi industri tertentu, misalnya resesi, normal, atau *booming*.

Penentuan Kesalahan Peramalan

Menurut Coyle, et al. (2009), beberapa peramalan tidak mungkin sepenuhnya benar karena peramalan yang lebih tinggi dari permintaan dan beberapa mungkin lebih rendah. Kunci untuk menghasilkan peramalan yang baik adalah dengan memilih teknik yang menyediakan nilai kesalahan peramalan terkecil.

1. *Cumulative Sum of Forecast Errors* (CFE)

CFE menghitung nilai total kesalahan peramalan dari sejumlah data dengan mempertimbangkan kesalahan negatif dan positifnya. Bagaimanapun jika mempertimbangkan kedua kesalahan ini, maka metode ini bisa menghasilkan kesalahan yang rendah secara keseluruhan, walaupun perkiraan periode individual bisa lebih tinggi atau lebih rendah daripada permintaan sebenarnya.

2. *Mean Squared Error* (MSE)

MSE merupakan rata-rata selisih kuadrat antara nilai yang diramalkan dan yang diamati. Keuntungan penggunaan MSE adalah bahwa ia cenderung menonjolkan deviasi yang besar karena adanya pengkuadratan.

3. *Mean Absolute Deviation* (MAD)

MAD merupakan ukuran kesalahan peramalan keseluruhan untuk sebuah model. Nilai ini dihitung dengan mengambil jumlah nilai absolut dari tiap kesalahan peramalan dibagi dengan jumlah periode data n .

4. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

MAPE berkaitan dengan munculnya permasalahan dengan MAD dan MSE yang nilainya bergantung pada besarnya jumlah barang yang diramal. Nilai ini dihitung dengan mengambil jumlah nilai absolut antara kesalahan peramalan

pada periode t dibagi dengan permintaan sebenarnya pada periode t. Selanjutnya akan dibagi dengan jumlah periode data n dan dikali dengan 100 %.

Pemrograman Linier

Pemrograman linier merupakan sebuah teknik optimasi yang dapat memaksimumkan atau meminimumkan nilai sebuah fungsi berdasarkan kondisi – kondisi tertentu dan teknik ini hanya membutuhkan jumlah langkah yang terbatas (Chatterjee, 2005).

Menurut Chatterjee (2005), secara umum bentuk umum model program linier dapat digambarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Maksimum / minimum} & : Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\ \text{dengan batasan} & : \begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n & \geq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n & \leq b_2 \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n & \leq b_m \end{aligned} \end{aligned}$$

dan kondisi non negatifnya : $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$

Keterangan :

1. Variabel x_1, x_2, \dots, x_n adalah variabel keputusan (*decision variable*) atau variabel *input*.
2. Konstanta c_1, c_2, \dots, c_n adalah koefisien biaya atau koefisien harga.
3. Konstanta b_1, b_2, \dots, b_m adalah parameter – parameter atau batasan yang disyaratkan.
4. Konstanta a_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ adalah koefisien struktural.

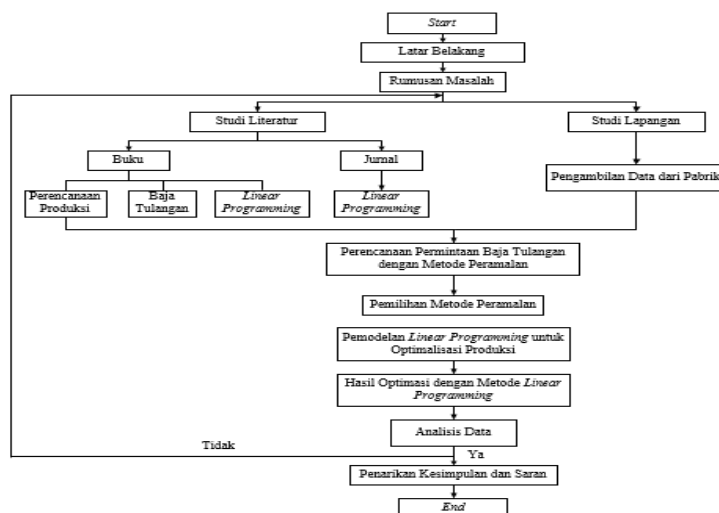
3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan – Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan tahapan penelitian dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Melakukan identifikasi awal mengenai permasalahan yang ingin dibahas.
2. Membaca beberapa literatur dan bahan pustaka lainnya yang berguna sebagai bahan referensi atau informasi tambahan.
3. Membuat perumusan masalah berdasarkan identifikasi pada awal penelitian dan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yang akan dilakukan.
4. Mencari data yang dibutuhkan dengan melakukan survei ke perusahaan secara langsung dan melakukan wawancara dengan pihak perusahaan mengenai data apa saja yang dibutuhkan untuk keperluan penelitian.
5. Melakukan pemeriksaan kembali apakah data yang dikumpulkan sudah cukup lengkap untuk proses penelitian.
6. Melakukan pengolahan data dengan menerapkan metode peramalan terlebih dahulu dan dilanjutkan menggunakan metode *linear programming*.
7. Melakukan analisis data hasil perhitungan yang didapat dari program *Lingo*.
8. Menarik kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis data.

Seluruh langkah kerja yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat melalui alur penelitian yang dapat dilihat melalui gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data

Berdasarkan pengumpulan data yang telah dilakukan, didapatkan data permintaan 18 jenis baja tulangan yang dilakukan peramalan dan diterapkan dalam pemodelan *linear programming*. Hal yang harus dilakukan adalah pengambilan data permintaan salah satu jenis tulangan dan pemilihan metode peramalan berdasarkan nilai kesalahan terkecil (MSE) yang dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2. Berdasarkan penerapan metode peramalan, maka metode peramalan yang dipilih adalah *multiplicative decomposition*.

Tabel 1. Data Permintaan Baja Tulangan TS 40 Diameter 10

Bulan	Permintaan (Ton)
Mei 2017	3.005,6284
Juni 2017	1.281,4136
Juli 2017	1.709,1632
Agustus 2017	2.643,7388
September 2017	2.158,136
Oktober 2017	2.909,4654
November 2017	1.922,0538
Desember 2017	1.202,5148
Januari 2018	1.237,0876
Februari 2018	930,4464
Maret 2018	1.226,7202
April 2018	1.250,1486

Tabel 2. Nilai Akurasi Kesalahan dari Setiap Metode Peramalan

No	Metode Peramalan	MSE	Urutan
1	<i>Trend</i>	299.405,1	3
2	<i>Exponential Smoothing</i>	553.764,8	4
3	<i>Multiplicative Decomposition</i>	137.567	1
4	<i>Additive Decomposition</i>	146.678,8	2

Pemodelan *Linear Programming*

1. *Decision Variable*

- A. A_t-R_t : jumlah baja tulangan yang diproduksi pada bulan t
- B. UA_t-UR_t : jumlah persediaan baja tulangan pada bulan t
- C. T_t : jumlah jam tenaga kerja reguler yang digunakan pada bulan t
- D. V_t : jumlah jam tenaga kerja lembur yang digunakan pada bulan t
- E. S_t : jumlah jam menganggur pada bulan t

Keterangan :

- 1. A = tulangan polos diameter 12 TP 24 dengan panjang 12 meter.
- 2. B = tulangan ulir diameter 10 TS 40 dengan panjang 12 meter.
- 3. C = tulangan ulir diameter 13 TS 40 dengan panjang 12 meter.
- 4. D = tulangan ulir diameter 16 TS 40 dengan panjang 12 meter.
- 5. E = tulangan ulir diameter 19 TS 40 dengan panjang 12 meter.
- 6. F = tulangan ulir diameter 22 TS 40 dengan panjang 12 meter.
- 7. G = tulangan ulir diameter 25 TS 40 dengan panjang 12 meter.
- 8. H = tulangan ulir diameter 29 TS 40 dengan panjang 12 meter.
- 9. I = tulangan ulir diameter 32 TS 40 dengan panjang 12 meter.

10. J = tulangan ulir diameter 40 TS 40 dengan panjang 12 meter.
11. K = tulangan ulir diameter 10 TS 50 dengan panjang 12 meter.
12. L = tulangan ulir diameter 13 TS 50 dengan panjang 12 meter.
13. M = tulangan ulir diameter 16 TS 50 dengan panjang 12 meter.
14. N = tulangan ulir diameter 19 TS 50 dengan panjang 12 meter.
15. O = tulangan ulir diameter 22 TS 50 dengan panjang 12 meter.
16. P = tulangan ulir diameter 25 TS 50 dengan panjang 12 meter.
17. Q = tulangan ulir diameter 29 TS 50 dengan panjang 12 meter.
18. R = tulangan ulir diameter 32 TS 50 dengan panjang 12 meter.
19. t = bulan 1,2,3,...,12.

2. Objective Function

A. Biaya Produksi

Biaya produksi adalah biaya tetap yang digunakan untuk memproduksi baja tulangan dengan perhitungan harga jual per batang (12 meter) dikurangi dengan besarnya keuntungan yang telah ditetapkan perusahaan dan dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Biaya Produksi Baja Tulangan

No	Jenis	Diameter (mm)	Panjang (m)	Berat (kg)	Berat per m' (kg)	Harga per batang (Rp)
1	Polos TP24	12	12	10,66	0,89	81.200
2	Ulir TS40	10	12	7,4	0,62	56.000
3	Ulir TS40	13	12	12,48	1,04	94.800
4	Ulir TS40	16	12	18,96	1,58	144.800
5	Ulir TS40	19	12	26,76	2,23	209.600
6	Ulir TS40	22	12	35,76	2,98	272.000
7	Ulir TS40	25	12	46,20	3,85	353.200
8	Ulir TS40	29	12	62,28	5,19	440.000
9	Ulir TS40	32	12	75,72	6,31	574.800
10	Ulir TS40	40	12	118,44	9,86	772.000
11	Ulir TS 50	10	12	7,4	0,62	68.000
12	Ulir TS 50	13	12	12,48	1,04	106.800
13	Ulir TS 50	16	12	18,96	1,58	164.000
14	Ulir TS 50	19	12	26,76	2,23	230.400
15	Ulir TS 50	22	12	35,76	2,98	296.000
16	Ulir TS 50	25	12	46,20	3,85	377.600
17	Ulir TS 50	29	12	62,28	5,19	468.000
18	Ulir TS 50	32	12	75,72	6,31	600.000

B. Biaya Jam Tenaga Kerja Reguler

Biaya tenaga kerja disini berhubungan langsung dengan biaya produksi yaitu sebesar Rp 33.000 / jam dengan jam kerja reguler 7 jam / hari.

C. Biaya Penyimpanan

Biaya yang timbul akibat adanya penyimpanan barang di gudang yaitu sebesar Rp 6.000 / ton.

D. Biaya Jam Tenaga Kerja Lembur

Biaya tenaga kerja lembur pada proses produksi baja tulangan ini yaitu sebesar Rp 49.500 / jam.

Perumusan model fungsi tujuan :

Min Z : $[(A_{1-12}/0,01066) \times 81.200) + (B_{1-12}/0,0074) \times 56.000) + (C_{1-12}/0,01248) \times 94.800) + (D_{1-12}/0,01896) \times 144.800) + (E_{1-12}/0,02676) \times 209.600) + (F_{1-12}/0,03576) \times 272.000) + (G_{1-12}/0,0462) \times 353.200) + (H_{1-12}/0,06228) \times 440.000) + (I_{1-12}/0,07572) \times 574.800) + (J_{1-12}/0,11844) \times 772.000) + (K_{1-12}/0,0074) \times 68.000) + (L_{1-12}/0,01248) \times 106.800) + (M_{1-12}/0,01896) \times 164.000) + (N_{1-12}/0,02676) \times 230.400) + (O_{1-12}/0,03576) \times 296.000) + (P_{1-12}/0,0462) \times 377.600) + (Q_{1-12}/0,06228) \times 468.000) + (R_{1-12}/0,07572) \times 600.000) + (33.000 T_1 + 33.000 T_2 + 33.000 T_3 + 33.000 T_4 + 33.000 T_5 + 33.000 T_6 + 33.000 T_7 + 33.000 T_8 + 33.000 T_9 + 33.000 T_{10} + 33.000 T_{11} + 33.000 T_{12}) + (6.000 UA_{1-12} + 6.000 UB_{1-12} + 6.000 UC_{1-12} + 6.000 UD_{1-12} + 6.000 UE_{1-12} + 6.000 UF_{1-12} + 6.000 UG_{1-12} + 6.000 UH_{1-12} + 6.000 UI_{1-12} + 6.000 UJ_{1-12} + 6.000 UK_{1-12} + 6.000 UL_{1-12} + 6.000 UM_{1-12} + 6.000 UN_{1-12} + 6.000 UO_{1-12} + 6.000 UP_{1-12} + 6.000 UQ_{1-12} + 6.000 UR_{1-12}) + (49.500 V_1 + 49.500 V_2 + 49.500 V_3 + 49.500 V_4 + 49.500 V_5 + 49.500 V_6 + 49.500 V_7 + 49.500 V_8 + 49.500 V_9 + 49.500 V_{10} + 49.500 V_{11} + 49.500 V_{12})]$.

3. Constraints

A. Kendala Kapasitas Gudang

Pabrik ini mempunyai 2 buah gudang dengan masing – masing kapasitas gudang sebesar 35.000 ton. Contoh penulisan dalam bentuk persamaan matematis :

$$1. UA_1 + UB_1 + UC_1 + UD_1 + UE_1 + UF_1 + UG_1 + UH_1 + UI_1 + UJ_1 + UK_1 + UL_1 + UM_1 + UN_1 + UO_1 + UP_1 + UQ_1 + UR_1 \leq 70.000$$

B. Kendala Jumlah Permintaan

Jumlah produksi baja tulangan berdasarkan data permintaan yang sudah diterapkan metode peramalan. Penulisan dalam bentuk persamaan :

$$Y_t = A_t - R_t + (UA - R_{t-1} - UA - R_t)$$

Keterangan : Y_t : jumlah permintaan baja tulangan pada periode t

$A_t - R_t$: jumlah produksi baja tulangan pada periode t

$UA - R_{t-1}$: jumlah persediaan baja tulangan pada periode t

$UA - R_t$: jumlah persediaan baja tulangan pada periode sebelumnya

Contoh penulisan dalam bentuk persamaan matematis :

$$1. A_1 + (UA_0 - UA_1) = 49,03302$$

C. Kendala Tingkat Persediaan

Jumlah persediaan efektif di tempat penyimpanan adalah minimal 30% dari permintaan dan maksimal 150 ton.

Penulisan dalam bentuk persamaan :

$$UA - R_t \geq 30\% * Y_t$$

$$UA - R_t \geq 150$$

Contoh penulisan dalam bentuk persamaan matematis :

$$1. A_1 \geq 14,70991$$

D. Kendala kapasitas jam kerja reguler

Perbedaan jam kerja diakibatkan oleh adanya kebijakan perusahaan yang menetapkan hari libur biasa dan nasional. Penulisan dalam bentuk persamaan :

$$T_t + S_t = W_t$$

Keterangan : S_t : waktu menganggur pada periode t

W_t : jam kerja reguler sebenarnya pada periode t

Contoh penulisan dalam bentuk persamaan matematis :

$$1. T_1 = TA_1 + TB_1 + TC_1 + TD_1 + TE_1 + TF_1 + TG_1 + TH_1 + TI_1 + TJ_1 + TK_1 + TL_1 + TM_1 + TN_1 + TO_1 + TP_1 + TQ_1 + TR_1$$

$$2. S_1 = SA_1 + SB_1 + SC_1 + SD_1 + SE_1 + SF_1 + SG_1 + SH_1 + SI_1 + SJ_1 + SK_1 + SL_1 + SM_1 + SN_1 + SO_1 + SP_1 + SQ_1 + SR_1$$

$$3. T_1 + S_1 = 441$$

E. Kendala Pemakaian Jam Kerja Reguler

Jam kerja nyata yang sesungguhnya dipakai dalam melakukan proses produksi sesuai dengan target pada periode tersebut. Penulisan dalam bentuk persamaan :

$$T_t : xY_t + S_t - V_t$$

$$Y_t : A_t - R_t + (UA - R_{t-1} - UA - R_t),$$

$$\text{sehingga: } T_t : xA_t - R_t - xUA - R_{t-1} + xUA - R_t + S_t - V_t$$

$$xA_t - R_t : T_t + xUA - R_{t-1} - xUA - R_t + V_t - S_t$$

Keterangan : x adalah kecepatan produksi tergantung dari jenis baja tulangan

Contoh penulisan dalam bentuk persamaan matematis :

$$1. TA_1 + 0,0248 UA_0 - 0,0248 UA_1 + VA_1 - SA_1 = 1,216$$

F. Kendala Jam Kerja Lembur

Jam kerja yang dipakai untuk memproduksi suatu barang di luar jam kerja reguler. Penulisan dalam bentuk persamaan :

$$V_t - S_t \leq z.T_t$$

$$V_t - S_t \leq z(xY_t - xUA - R_{t-1} + xUA - R_t + S_t - V_t)$$

$$V_t - S_t \leq zxY_t - zxUA - R_{t-1} + zxUA - R_t + zS_t - zV_t$$

$$V_t - S_t + zxUA - R_{t-1} - zxUA - R_t - zS_t + zV_t \leq zxY_t$$

$$(1+z)V_t - (1+z)S_t + zxUA - R_{t-1} - zxUA - R_t \leq zxY_t$$

Keterangan : z adalah nilai perbandingan jam kerja reguler dengan jam kerja lembur.

Contoh penulisan dalam bentuk persamaan matematis :

$$1. V_1 = VA_1 + VB_1 + VC_1 + VD_1 + VE_1 + VF_1 + VG_1 + VH_1 + VI_1 + VJ_1 + VK_1 + VL_1 + VM_1 + VN_1 + VO_1 + VP_1 + VQ_1 + VR_1$$

$$2. 1,0714 VA_1 - 1,0714 SA_1 + 0,00177072 UA_0 - 0,00177072 UA_1 \leq 0,08682$$

G. Kendala Kapasitas Jumlah Produksi

Pabrik memiliki keterbatasan dalam jumlah baja tulangan yang diproduksi setiap bulannya yaitu 25.000 ton.

Penulisan dalam bentuk persamaan :

$$A_t - R_t \leq 25.000$$

Keterangan : A_i-R_i : jumlah baja tulangan yang harus diproduksi setiap bulannya.

Contoh penulisan dalam bentuk persamaan matematis :

$$1. A_1 + B_1 + C_1 + D_1 + E_1 + F_1 + G_1 + H_1 + I_1 + J_1 + K_1 + L_1 + M_1 + N_1 + O_1 + P_1 + Q_1 + R_1 \leq 25.000$$

H. Kendala Ketersediaan Baja Tulangan di Gudang

Ketersediaan barang di gudang dapat mencegah pabrik untuk melakukan produksi dengan jumlah yang berlebihan dengan menggunakan produk yang tersisa dari produksi bulan sebelumnya. Penulisan dalam bentuk persamaan :

$$UA_0-R_0 = yb \text{ (ton)}$$

Keterangan : yb : sisa persediaan barang di gudang pada bulan sebelumnya

Contoh penulisan dalam bentuk persamaan matematis :

$$1. UA_0 = 152,31008$$

Hasil Jumlah Produksi dengan 3 Shift

Dari hasil optimasi dengan menggunakan program *Lingo* didapatkan perencanaan produksi yang tepat dan sesuai target perusahaan. Hasil perencanaan produksi dengan menggunakan 3 *shift* menunjukkan bahwa semua permintaan untuk 18 jenis tulangan dapat terpenuhi dengan baik dan terdapat pengurangan jam kerja yang dibutuhkan untuk melakukan proses produksi baja tulangan tersebut. Untuk produksi pada awal periode peramalan (Mei 2018), jumlah produksi dapat dikurangi karena ketersediaan baja tulangan yang bervariasi dan jumlah persediaannya yang sangat banyak. Total biaya yang diperlukan untuk melakukan proses produksi selama 1 tahun perencanaan yang meliputi produksi baja tulangan, biaya penyimpanan dan biaya jam kerja adalah sebesar Rp 1.301.490.788.783,-.

Hasil Jumlah Produksi Skenario 1 dengan 2 Shift

Penelitian lanjut dengan menggunakan 2 *shift* sebagai jam kerja dengan asumsi jam kerja lembur dapat bertambah jika ada permintaan yang belum terpenuhi. Hasil perencanaan produksi dengan menggunakan 2 *shift* ini menunjukkan bahwa semua permintaan tetap dapat terpenuhi, walaupun terdapat pertambahan jam kerja lembur di akhir periode (April 2019). Untuk persediaan di gudang juga mengalami pertambahan jika dibandingkan dengan menggunakan 3 *shift* karena mendahulukan produksi pada bulan sebelumnya untuk memenuhi permintaan beberapa bulan ke depan. Total biaya yang diperlukan untuk melakukan proses produksi selama 1 tahun perencanaan dengan menggunakan 2 *shift* ini adalah sebesar Rp 1.302.327.073.616,-.

Hasil Jumlah Produksi Skenario 2 dengan 2 Shift Terbatas

Penelitian lanjut pada skenario 2 ini menggunakan 2 *shift* sebagai jam kerja dengan asumsi jam kerja lembur hanya setengah jam untuk setiap *shift*. Hasil perencanaan produksi yang didapat jika menggunakan skenario 2 dengan 2 *shift* terbatas menunjukkan bahwa terdapat salah satu jenis tulangan yang tidak dapat diproduksi. Hal ini dikarenakan jam kerja yang kurang dan berpengaruh terhadap pemenuhan permintaan pada bulan – bulan selanjutnya.

Adapun contoh hasil jumlah produksi dengan 3 *shift* dapat dilihat pada tabel 4, tabel 5 dan tabel 6 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Optimasi Produksi dengan 3 Shift

No	Material	Hasil Optimasi Produksi 2018 - 2019 (kg)					
		Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober
1	E-TP24-1212PT-00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.800.910
2	E-TS40-1012TL-00	1.748.734.000	1.609.028.000	1.811.757.000	2.080.524.000	1.859.161.000	2.148.106.000
3	E-TS40-1312TL-00	627.587.000	2.400.310.000	2.477.996.000	2.359.417.000	2.033.445.000	3.261.111.000
4	E-TS40-1612TL-00	0.000	982.550.000	2.051.002.000	1.724.503.000	1.958.435.000	2.202.652.000
5	E-TS40-1912TL-00	0.000	618.053.300	223.177.500	1.620.038.000	1.295.701.000	1.798.822.000
6	E-TS40-2212TL-00	0.000	508.674.400	1.391.905.000	1.454.933.000	2.137.468.000	1.212.538.000
7	E-TS40-2512TL-00	0.000	0.000	190.749.700	1.462.279.000	3.834.369.000	2.331.840.000
8	E-TS40-2912TL-00	0.000	0.000	0.000	0.000	53.869.860	151.982.600
9	E-TS40-3212TL-00	0.000	0.000	0.000	328.615.800	2.077.287.000	3.493.624.000
10	E-TS40-4012TL-00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	E-TS50-1012TL-00	0.000	12.343.760	438.239.500	362.914.100	320.445.000	347.360.000
12	E-TS50-1312TL-00	0.000	0.000	0.000	439.904.200	291.729.300	308.421.100
13	E-TS50-1612TL-00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	227.551.200
14	E-TS50-1912TL-00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	67.362.860
15	E-TS50-2212TL-00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	348.410.900
16	E-TS50-2512TL-00	0.000	0.000	0.000	80.869.490	104.261.400	138.593.300
17	E-TS50-2912TL-00	18.765.550	126.179.700	0.000	0.000	128.975.900	0.000
18	E-TS50-3212TL-00	0.000	441.665.100	1.213.576.000	0.000	0.000	565.472.000
Total Produksi		2.395.086.550	6.638.804.260	9.798.402.700	11.913.997.590	16.095.147.460	18.634.647.870

Tabel 4. Hasil Optimasi Produksi dengan 3 Shift (Lanjutan)

No	Material	Hasil Optimasi Gudang 2018 - 2019 (kg)					
		Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober
1	E-TP24-1212PT-00	103,277.100	97,442.580	91,777.030	83,643.880	30,333.500	14,107.940
2	E-TS40-1012TL-00	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
3	E-TS40-1312TL-00	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
4	E-TS40-1612TL-00	288,127.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
5	E-TS40-1912TL-00	926,081.700	150,000.000	86,117.880	150,000.000	150,000.000	150,000.000
6	E-TS40-2212TL-00	875,030.600	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
7	E-TS40-2512TL-00	1,870,817.000	1,076,284.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
8	E-TS40-2912TL-00	1,846,901.000	1,592,310.000	1,397,383.000	614,357.000	150,000.000	69,688.290
9	E-TS40-3212TL-00	3,112,876.000	2,062,511.000	1,583,994.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
10	E-TS40-4012TL-00	404,571.300	404,571.300	404,571.300	404,571.300	404,571.300	374,369.100
11	E-TS50-1012TL-00	204,587.500	50,061.060	112,684.700	109,753.600	99,276.600	103,070.000
12	E-TS50-1312TL-00	1,109,584.000	873,223.800	254,741.900	150,000.000	101,937.500	94,698.150
13	E-TS50-1612TL-00	837,343.600	691,511.900	380,133.100	140,079.000	84,892.850	72,102.480
14	E-TS50-1912TL-00	227,933.200	191,207.200	159,102.000	100,518.600	30,892.770	22,674.380
15	E-TS50-2212TL-00	572,455.300	533,579.600	427,379.400	263,366.500	151,645.700	115,397.700
16	E-TS50-2512TL-00	355,340.800	230,748.100	96,686.200	40,974.390	33,515.940	39,717.510
17	E-TS50-2912TL-00	8,369.130	31,049.730	31,049.730	18,569.660	34,048.980	34,048.980
18	E-TS50-3212TL-00	492,225.300	150,000.000	150,000.000	147,491.500	138,174.200	150,000.000
Total Penyimpanan		13,535,520.530	8,734,500.270	5,925,620.240	3,123,325.430	2,309,289.340	2,139,874.530

Tabel 5. Hasil Optimasi Gudang dengan 3 Shift

No	Material	Hasil Optimasi Produksi 2018 - 2019 (kg)					
		November	Desember	Januari	Februari	Maret	April
1	E-TP24-1212PT-00	0.000	0.000	7,045.200	64,033.850	43,209.420	0.000
2	E-TS40-1012TL-00	2,382,931.000	1,119,610.000	1,231,246.000	1,376,289.000	1,192,230.000	1,328,522.000
3	E-TS40-1312TL-00	2,432,469.000	2,511,106.000	2,390,859.000	2,060,471.000	3,304,339.000	2,464,627.000
4	E-TS40-1612TL-00	2,356,086.000	1,201,334.000	2,196,868.000	1,845,712.000	2,094,493.000	2,353,924.000
5	E-TS40-1912TL-00	1,613,238.000	280,038.800	1,848,496.000	1,481,787.000	2,049,951.000	1,832,341.000
6	E-TS40-2212TL-00	1,367,921.000	1,429,755.000	2,100,317.000	1,191,371.000	1,343,938.000	1,404,577.000
7	E-TS40-2512TL-00	1,844,358.000	938,326.900	1,313,274.000	1,711,864.000	4,470,726.000	2,708,419.000
8	E-TS40-2912TL-00	431,948.200	256,099.000	1,181,946.000	722,314.100	262,225.600	572,028.700
9	E-TS40-3212TL-00	2,028,749.000	854,244.100	2,958,758.000	3,318,516.000	5,358,310.000	3,007,133.000
10	E-TS40-4012TL-00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	E-TS50-1012TL-00	351,589.000	758,320.700	644,580.400	951,608.600	142,289.100	532,605.200
12	E-TS50-1312TL-00	340,299.000	905,461.600	738,772.200	438,696.700	402,517.300	438,486.600
13	E-TS50-1612TL-00	558,448.700	319,307.200	0.000	407,294.200	708,244.500	467,567.700
14	E-TS50-1912TL-00	18,036.070	38,468.680	30,795.950	66,693.420	73,121.010	77,561.410
15	E-TS50-2212TL-00	258,806.600	162,555.400	408,216.100	468,309.300	204,793.800	964,828.500
16	E-TS50-2512TL-00	482,331.400	146,898.000	214,893.700	208,673.100	153,659.200	200,248.700
17	E-TS50-2912TL-00	0.000	61,485.740	0.000	0.000	58,246.550	0.000
18	E-TS50-3212TL-00	828,876.200	0.000	0.000	277,874.800	480,408.400	0.000
Total Produksi		17,296,087.170	10,983,011.120	17,266,067.550	16,591,508.070	22,342,701.880	18,352,869.810

Tabel 5. Hasil Optimasi Gudang dengan 3 Shift (Lanjutan)

No	Material	Hasil Optimasi Gudang 2018 - 2019 (kg)					
		November	Desember	Januari	Februari	Maret	April
1	E-TP24-1212PT-00	8,514.190	3,084.340	2,337.590	15,316.490	13,505.980	8,152.960
2	E-TS40-1012TL-00	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
3	E-TS40-1312TL-00	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
4	E-TS40-1612TL-00	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
5	E-TS40-1912TL-00	150,000.000	99,239.730	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
6	E-TS40-2212TL-00	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
7	E-TS40-2512TL-00	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
8	E-TS40-2912TL-00	115,762.300	85,814.130	150,000.000	150,000.000	95,128.980	150,000.000
9	E-TS40-3212TL-00	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000	150,000.000
10	E-TS40-4012TL-00	341,659.900	341,659.900	341,659.900	341,659.900	341,659.900	311,457.700
11	E-TS50-1012TL-00	104,921.300	150,000.000	150,000.000	551,898.000	150,000.000	150,000.000
12	E-TS50-1312TL-00	100,384.000	150,000.000	150,000.000	135,853.100	124,239.300	129,859.800
13	E-TS50-1612TL-00	145,511.800	107,265.900	28,012.920	100,455.500	150,000.000	142,515.600
14	E-TS50-1912TL-00	9,394.720	11,045.400	9,655.700	17,619.030	20,940.010	22,731.100
15	E-TS50-2212TL-00	86,354.820	57,440.820	107,459.300	132,869.700	77,922.330	240,634.800
16	E-TS50-2512TL-00	120,472.800	61,700.970	63,829.530	62,885.220	49,971.780	57,743.190
17	E-TS50-2912TL-00	17,017.840	18,116.210	18,116.210	11,672.790	16,135.230	16,135.230
18	E-TS50-3212TL-00	150,000.000	148,355.100	142,547.700	97,020.570	133,252.800	132,471.600
Total Penyimpanan		2,249,993.670	2,133,722.500	2,213,618.850	2,667,250.300	2,222,756.310	2,411,701.980

Tabel 6. Hasil Optimasi Jam Kerja dengan 3 Shift

No	Bulan	Jam Kerja Reguler (kr)	Jam Kerja Lembur (kl)
1	Mei 2018	61	0
2	Juni 2018	159	0
3	Juli 2018	231	0
4	Agustus 2018	280	0
5	September 2018	364	0
6	Oktober 2018	423	0
7	November 2018	398	0
8	Desember 2018	255	0
9	Januari 2019	389	0
10	Februari 2019	376	0
11	Maret 2019	462	33
12	April 2019	416	0
	Total	3814	33

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ketersediaan baja tulangan di gudang pada bulan sebelumnya memiliki jumlah yang cukup bervariasi dan sangat membantu dalam kegiatan proses produksi, sehingga pabrik dapat mengurangi jumlah produksi pada awal periode peramalan (Mei 2018).
2. Hasil produksi yang berbeda akibat perbedaan shift jam kerja mempengaruhi jumlah penyimpanan baja tulangan di gudang. Total biaya penyimpanan baja tulangan dengan 3 shift selama 1 tahun sebesar Rp 298.003.044,- dan total biaya penyimpanan jika menggunakan skenario 1 dengan 2 shift sebesar Rp 1.130.152.108,-.
3. Hasil penelitian dengan menggunakan perbedaan shift jam kerja menunjukkan bahwa untuk melakukan produksi dengan 3 shift selama 1 tahun membutuhkan total biaya sebesar Rp 1.301.490.788.783,-. Jika menggunakan skenario 1 dengan 2 shift, maka akan membutuhkan biaya sebesar Rp 1.302.327.073.616,- Untuk skenario 2 dengan 2 shift terbatas, produksi tidak dapat terpenuhi karena jam kerja yang kurang. Jadi jam kerja dan kecepatan produksi sangat berpengaruh dalam menghasilkan baja tulangan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2014). *SNI 2052:2014 Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Chatterjee, Dipak. (2005). *Linear Programming and Game Theory*. New Delhi : Phi Learning Pvt. Ltd.
- Coyle, John J., C. John Langley, Jr., Brian J. Gibson, Robert A. Novack and Edward J. Bardi. (2009). *Supply Chain Management : A Logistics Perspective*. 8th edition. Mason : Cengage Learning.
- Gaspersz, Vincent. (2004). *Production Planning and Inventory Control*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Umum.
- Herjanto, Eddy. (2008). *Manajemen Operasi*. Edisi 3. Jakarta : Grasindo.
- Hutajulu, O.P. (2010). *Kajian Peramalan Permintaan dan Perencanaan Optimasi Produksi Semen pada Plant 11 PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Indonesian Iron and Steel Industry Association. "Indonesia Steel Industries : Development & Opportunities." *Organisation for Economic Co-operation and Development*. 29 September 2017. (On-Line). 9 Februari 2018. https://www.oecd.org/industry/ind/Item_9_5_Indonesia.pdf
- Prasetya, Hery dan Fitri Lukiastuti. (2009). *Manajemen Operasi*. Yogyakarta : Medpress.
- Shao, Ju-ping, Dong Shao-hua, Hu Bo dan Liang Jian. (2007). "Theory and Method of Production Logistics Plan Optimizing for An Iron and Steel Enterprise." *International Conference on Transportation Engineering*. China : Southwest Jiaotong University.
- Sharma, J.K. (2007). *Business Statistics*. 2nd edition. New Delhi : Dorling Kindersley (India) Pvt. Ltd.