

Optimasi Panjang Mainroll pada Industri Pulp & Paper untuk Kebutuhan Kertas HVS dengan Integer Programming

Agustinus Silalahi¹, Trifenaus Prabu Hidayat*², Hotma Antoni Hutahaean³, Febian Suwasto⁴

¹²³⁴Program Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Raya Cisauk, Sampora, Cisauk, Tangerang, Banten 15345, INDONESIA

²Program Studi Profesi Pendidikan Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya,
Jl. Jendral Sudirman no 51, Jakarta 12930, INDONESIA

Article Info

Abstract

Article history:

Received
23 September 2024

Accepted
5 Januari 2025

Keywords:
*Integer Programming,
mainroll, pulp & paper,
branch & bound.*

PT. XYZ is a company engaged in the production of paper and pulp. These are two products are interrelated because to produce paper, raw materials are needed in the form of pulp. And often the paper production in the factory is excessive. This study aims to determine the optimal mainroll length according to demand so that overproduction will be minimized. The approach used is Integer Programming with the Branch and Bound method, where previously obtained combinations of possible paper arrangements on the mainroll with a maximum length of 80 km and a the width of 8,5 m. based on the optimal calculation results for the December 2022 production period, the mainroll length produced is 139,23 km which produced 14.891 reams for A4 paper, 10.539 reams for F4 paper and 10.239 reams for Q4 paper. The excess production of each type of paper was 0.34 %, 0,02 % dan 1,82 %, respectively. While the total overproduction for all types of paper sizes was 0,67 %. Production results in December 2022, overproduction of A4, F4 and Q4 were 1,15 %, 3,26 % and 2,92 %, respectively. While the total overproduction for all types of paper sizes was 2,28 %. The standart deviation of the calculation of real conditions is 1,13 %, meaning that the deviation of excess production in real conditions is greater.

1. PENDAHULUAN

Persepsi Dalam kehidupan sehari-hari, kertas memiliki peran penting. Hal ini menyebabkan kertas harus memiliki manfaat yang disesuaikan dengan kebutuhan konsumen, terkait ukuran atau dimensi kertas yang dibutuhkan. Efisiensi dalam produksi kertas merupakan suatu hal yang selalu ingin dicapai oleh perusahaan. Namun efisiensi tidak akan mungkin bisa bernilai 100% dan hanya dapat dimaksimalkan mendekati 100% karena aspek dari efisiensi tersebut sangatlah banyak dan beragam dari berbagai macam sektor (Becceneri *et al.*, 2004). Efisiensi yang ingin dicapai oleh para produsen kertas adalah meminimumkan sisa potongan kertas hasil pemotongan, meminimumkan produksi kertas sesuai dengan permintaan yang ada, serta meniadakan jam kerja lembur yang diakibatkan oleh kelebihan produksi kertas secara berkelanjutan (Correia *et al.*, 2012).

Banyak produk yang bahan bakunya berbentuk rolls dan sheet, kemudian dipotong sesuai dengan kebutuhan. Permasalahan untuk bahan baku berbentuk rolls dan sheet adalah untuk mengurangi produk baris dari kerugian

proses pemotongan. Ada permintaan dan ukuran barang yang diberikan di satu sisi, dan ketersediaan dan ukuran bahan baris, di sisi lain. Permintaan harus dipenuhi dengan memotong bahan baris yang tersedia untuk meminimalkan limbah, atau fungsi tujuan lain yang sesuai, masalah ini dikenal sebagai Cutting Stock Problem (CSP) (Mabasher & Ekichi, 2013). Ada pemotongan dalam satu dimensi, dan ada pemotongan dalam dua Dimensi. CSP adalah tahap utama dalam perencanaan produksi untuk sejumlah industri yang bahan barisnya harus dipotong seperti gulungan kertas yang dipotong, gulungan tekstil, kumparan baja, bahan baris dalam bentuk batangan (batang logam, batang kayu), papan keras kayu, potongan kulit, antara lain. Bahan baris dalam bentuk batangan adalah satu dimensi di CSP, gulungan kertas, gulungan tekstil, kumparan baja, papan keras kayu, dan potongan kulit adalah dua dimensi.

Bahan baku yang digunakan oleh PT. XYZ berupa bubur kertas atau pulp yang nantinya akan diolah dan menghasilkan kertas dalam gelondongan raksasa berdimensi panjang gulungan mencapai 80 Km dengan lebar

*Corresponding author. Trifenaus Prabu Hidayat
Email address: trifenaus.hidayat@atmajaya.ac.id

gelondongan utama sebesar 8,5 m. cara pemotongan kertas yang dilakukan adalah dengan cara mengelompokkan jenis permintaan kertas tanpa memperhitungkan sisa dari potongan kertas tersebut sehingga seringkali sisa dari dimensi roll kertas tidak mencukupi lagi untuk memproduksi dimensi kertas yang sesuai dengan spesifikasi dan menjadi produk yang terbuang percuma. Sehingga diperlukan metode yang baik untuk menentukan ukuran mainroll kertas HVS untuk sekali pemotongan dengan sistem MTO (Chauhan *et al.*, 2008). Dalam praktiknya, pemotongan kertas dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan cara pemotongan, mulai dari pemotongan 1 dimensi sampai dengan 3 dimensi. (Silva *et al.*, 2010; Linhares & Hideki, 2002).

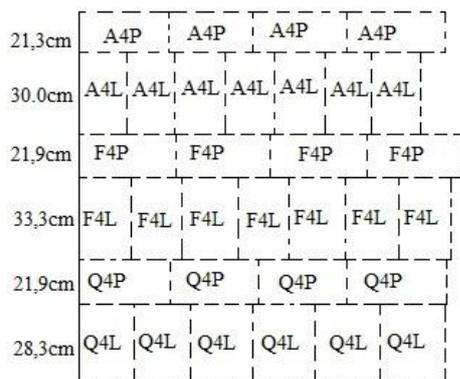
Proses pemotongan kertas HVS di PT. XYZ disesuaikan dengan permintaan pasar. Dalam menghasilkan kertas ukuran A4, gulungan kertas utama (mainroll) dipotong menjadi gulungan-gulungan kecil (subroll) terlebih dahulu. Permasalahan utamanya adalah menentukan panjang optimal gulungan utama agar meminimalkan sisa potongan. Apabila penumpukan sisa potongan kertas yang terlalu lama dapat menurunkan kualitas produk dan berpotensi konsumen menolak produk tersebut. Selain itu permasalahan lainnya, kelebihan produksi dapat memperpanjang waktu pengiriman dan berdampak pada keterlambatan pengiriman pesanan produk lainnya. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan Integer Programming dengan metode Branch and Bound. Perbedaan metode cutting plan dengan penelitian ini adalah cutting plan hanya meminimumkan sisa potongan dari mainroll sehingga waste dapat ditekan seminimum mungkin tanpa mempertimbangkan bahan baku (Marchand *et al.*, 2001). Sedangkan penelitian ini berfokus pada optimasi bahan baku dengan tidak mengesampingkan sisa potongan kertas yang minimum (Ogunranti & Oluleye, 2016).

2. METODOLOGI

Pemahaman permasalahan dari sistem dapat diberikan Gambaran permasalahannya sebagai berikut. Ada 3 jenis ukuran kertas HVS yang diproduksi yaitu A4, F4 dan Q4 dimana ukurannya berturut-turut adalah: 29,7 × 21,0 cm, 33,0 × 21,6 cm dan 27,7 × 21,3 cm yang merupakan hasil pemotongan dari main sheet. Ada 3 jenis rool kertas dalam tahapan proses pemotongan kertas, yaitu main rool, sub roll dan main sheet. Hasil produksi dari pabrik merupakan *main roll* yang panjang bervariasi antara 10,000 m- 80,000 m sesuai dengan kebutuhan dan lebarnya tetap 8,50 m. Main roll dipotong-potong secara lebar menjadi beberapa

bagian yang dinamakan subroll, dalam hal ini panjang mainroll dengan subroll sama. Subroll dipotong-potong secara panjang menjadi beberapa bagian yang panjangnya 1,000 m-10,000 m, kemudian dipotong secara lebar sesuai dengan jenis ukuran kertas dan cara potong, hasil potongan ini dinamakan dengan main sheet. *Mainsheet* adalah kumpulan roll sheet jenis ukuran kertas yang sama dan cara potongnya sama berdasarkan panjang atau lebarnya. Example main sheet yang merupakan kumpulan roll sheet jenis ukuran A4 yang cara potongnya berdasarkan panjang. Ada 6 jenis *mainsheet* yaitu: 1. *Main sheet* kumpulan rool sheet jenis A4 yang dipotong berdasarkan panjang (ditambah toleransi sehingga jarak potongan antar kertas adalah 30,0 cm), 2. *mainsheet* kumpulan roll sheet jenis A4 yang dipotong berdasarkan lebar, 3. *mainsheet* kumpulan roll sheet jenis F4 yang dipotong berdasarkan panjang, 4. *mainsheet* kumpulan roll sheet jenis F4 yang dipotong berdasarkan lebar, 5. *mainsheet* kumpulan sheet jenis Q4 yang dipotong berdasarkan panjang, 6. *mainsheet* kumpulan rool sheet jenis Q4 yang dipotong berdasarkan lebar. Roll sheet adalah kumpulan lembar kertas dalam bentuk roll untuk jenis ukuran kertas tertentu dengan cara potong yang sama. Example kumpulan lembar kertas A4 dalam bentuk roll yang dipotong berdasarkan Lebar A4 yang dinotasikan A4L, ini berarti lebar dari roll sheet sama dengan panjang A4. Rool sheet sejenis (jenis ukuran dan cara potong sama) digabung dalam main sheet. Main sheet terdiri dari 1- 8 rool sheet yang sejenis yang panjangnya 1,000 m-10,000 m. Main sheet dipotong-potong menjadi sheet di station potong yang terdiri dari 5 cutting station. Main sheet pertama-tama dipotong berdasarkan panjang yang diinginkan dalam hal ini kita namakan base sheet. Base sheet ditumpuk menjadi 500 sheet kemudian dipotong berdasarkan lebar dimana banyak pisau yang tersedia untuk setiap station 20 pisau potong- dan penggunaan banyak pisau dan kecepatan potong dapat di set sesuai dengan kebutuhan. Untuk A4L panjang potongannya base sheetnya 21,3 cm dengan lebar 150 cm dengan jumlah tumpukan 500 sheet. Kemudian tumpukan tersebut dipotong –potong dengan jarak potong 30,0 cm, sehingga dari proses ini menghasilkan 5 rim kertas A4. *Sub roll* adalah kumpulan dari beberapa *main sheet* yang cara potongnya sama dengan lebar maksimum 3.5 m. Subroll terdiri dari 2 jenis yaitu kumpulan main sheet yang cara potongnya berdasarkan panjang dan kumpulan mainsheet yang cara potongnya berdasarkan lebar.

Langkah pertama yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah menentukan kombinasi susunan rool sheet pada *mainroll* seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1 berikut..



Gambar 1.
Ilustrasi Kombinasi Susunan rollsheet

Dimana A4, F4 dan Q4 menyatakan jenis ukuran roll sheet, P : jarak potongan antar lembaran kertas berdasarkan panjang jenis ukuran kertas ditambah toleransi, L : jarak potongan antar lembaran kertas berdasarkan lebar jenis ukuran kertas ditambah toleransi. Sehingga A4P artinya roll sheet jenis ukuran A4 dengan cara potongan berdasar panjang A4, sebaliknya A4L artinya roll sheet jenis ukuran A4 dengan cara potongan berdasar lebar A4. Kebutuhan kertas selama masa produksi Desember 2020 seperti Tabel 1 berikut.

Tabel 1.
Data Permintaan Kertas Desember 2022

Permintaan kertas Desember 2022 (Rim)	
A4	14,840
F4	10,537
Q4	10,056
Total	35,433

Panjang main roll yang diproduksi selama ini berdasarkan panduan yang sudah ditentukan oleh

Tabel 3.
Contoh Kombinasi Susunan roll sheet

Paper type	dimensi	Cara Potong	S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8 S272 S926												
			Banyak lembar kertas pada kombinasi Susunan roll sheet Ke-i (S _i)												
A4	29.7×21.0	A4L	26	26	26	26	26	25	25	25	....	5	....	7	
		A4P	....	9	....	7									
F4	33.0×21.6	F4L	1	1	1	2	1	....	5	....	7				
		F4P	1	2	3	....	5	....	4						
Q4	27.9×21.6	Q4L	1	1	1	1	1	....	5	....	5				
		Q4P	1	1	3	....	4	....	1						
Sisa (cm)			8.5	14.8	19.9	8.5	4.3	5.2	1	6.1	....	3.7	....	7.3	

Langkah berikutnya adalah merumuskan fungsi tujuan yang ingin dioptimalkan, yaitu meminimalkan sisa produksi dan persediaan barang (Abuhassan & Nasereddin, 2011). Selanjutnya, menentukan batasan-batasan produksi seperti kapasitas mesin, efisiensi, dan tingkat cacat produk. Batasan-batasan ini akan dirumuskan dalam bentuk persamaan matematika (Filho et al., 2018). Model

perusahaan seperti yang tertera pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2.
Tabel Panduan Perencanaan Produksi Panjang Mainroll

Kebutuhan kertas (rim)	Panjang mainroll yang diproduksi (km)
10,000 – 15,000	80
15,000 – 20,000	110
20,000 – 25,000	140
30,000	160

Seperti yang dijelaskan pada tersebut, yang pertama dilakukan adalah menentukan kombinasi susunan roolsheet pada main roll berdasarkan lebar dari mainroll dengan menambahkan toleransi potong 0.3 cm. Kebijakan dari perusahaan bahwa setiap main roll harus menghasilkan ke 3 jenis kertas tersebut. Ada 1116 kombinasi susunan roll sheet, yang digunakan untuk pembentukan Formulasi matematis adalah kombinasi yang mengandung ke 3 jenis ukuran kertas tersebut, dimana masing-masing jenis ukuran kertas bisa 1 atau 2 kombinasi, sehingga dari seleksi kombinasi hanya 926 kombinasi susunan roolsheet yang digunakan. Dari gambar 1, dimana dimensi pemotongan hanya 1 dimensi tetapi secara bertahap, yaitu pemotongan secara lebar roll pada main roll dan subroll, kemudian pemotongan secara panjang dan lebar pada main sheet yang ukuran panjang roll sheet nya dan lebar roll sheet nya sama. Let Si menyatakan kombinasi susunan roll sheet ke -i, Tabel 3. merupakan sebagian kombinasi dari 926 kombinasi susunan roolsheet yang digunakan untuk membentuk Formulasi matematis

matematika yang telah dibuat kemudian akan diselesaikan menggunakan software Excel Solver untuk mendapatkan solusi optimal. Setelah itu, langkah selanjutnya melakukan validasi untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh dari model sesuai dengan kondisi nyata di perusahaan (Martinez-Alvaro dan Venezuela-Rendon, 2003).

Berdasarkan langkah tersebut didapatkan formulasi matematis sebagai berikut:

Indeks notasi yang digunakan untuk pembentukan Formulasi matematis adalah :

- S_i : Kombinasi susunan roll sheet ke i
 $i=1, \dots, 926$
- R_j : Roll sheet jenis j
 $j = 1, \dots, 6$
- R_1 : Roll sheet A4 yang akan dipotong berdasarkan Lebar A4.
- R_2 : Roll sheet A4 yang akan dipotong berdasarkan Panjang A4.
- R_3 : Roll sheet F4 yang akan dipotong berdasarkan Lebar F4.
- R_4 : Roll sheet F4 yang akan dipotong berdasarkan Panjang F4.
- R_5 : Roll sheet Q4 yang akan dipotong berdasarkan Lebar Q4.
- R_6 : Roll sheet Q4 yang akan dipotong berdasarkan Panjang Q4.
- A_j : Lembar kertas yang berasal dari R_j
- a_j : jarak potongan antar lembaran kertas pada R_j
- H_k : Jenis ukuran kertas k
- H_1 : Jenis kertas A4
- H_2 : Jenis kertas F4
- H_3 : Jenis kertas Q4
- b_{ij} : Banyaknya roll sheet R_j pada susunan S_i
- K_{ij} : panjang kertas yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 rim A_j dari susunan kertas S_i
- P_i : Panjang kertas dalam bentuk roll yang dibutuhkan untuk memenuhi minimal 1 RIM dari semua jenis ukuran kertas pada susunan kertas S_i
- r_{ij} : Banyaknya A_j (rim) dari roll P_i
- x_i : Banyak roll kertas P_i yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan
- t_{ik} : Banyak H_k (rim) yang dihasilkan untuk memenuhi permintaan pada kombinasi susunan S_i
- n_k : Banyak H_k (rim) yang dibutuhkan.
- z_i : Panjang main roll yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan kertas berdasarkan kombinasi susunan S_i .
- w : Panjang main roll optimum yang dibutuhkan sesuai untuk semua kebutuhan jenis ukuran kertas.
 $w = \min\{z_i\}$

Formula matematis untuk menentukan parameter adalah:

$$K_{ij} = (500 \cdot a_j) / b_{ij}, \forall i \text{ dan } \forall j \dots\dots\dots (1)$$

$$P_i = \text{MAX}(K_{i1}, K_{i2}, K_{i3}, K_{i4}, K_{i5}, K_{i6}), \forall i \dots\dots (2)$$

$$r_{ij} = (b_{ij} \cdot P_i) / (500 \cdot a_j), \forall i \text{ dan } \forall j \dots\dots\dots (3)$$

Model IP sebagai berikut

$$ST : t_{i1} = x_i(r_{i1} + r_{i2}) \geq n_1; \forall i \dots\dots\dots (4)$$

$$t_{i2} = x_i(r_{i3} + r_{i4}) \geq n_2; \forall i \dots\dots\dots (5)$$

$$t_{i3} = x_i(r_{i5} + r_{i6}) \geq n_3; \forall i \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Minimum } x_i, \forall i \dots\dots\dots (7)$$

$$z_i = x_i \cdot P_i, \forall i \dots\dots\dots (8)$$

$$w = \min\{z_1, z_2, \dots, z_{926}\} \dots\dots\dots (9)$$

dimana nilai n_1, n_2 dan n_3 berturut-turut adalah 14,840 , 10,537 and 10,056 rim

Constraint (1), panjang kertas yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 rim (500 sheet) R_i pada kombinasi S_i , (2) panjang kertas yang dibutuhkan untuk menghasilkan minimum 1 rim dari semua R_i pada setiap kombinasi S_i , (3) banyak kertas R_j (rim) untuk masing-masing P_i . Constraint (4)-(6) kebutuhan minimal masing-masing tipe kertas, (7) kebutuhan minimal P_i , (8) panjang mainsheet untuk masing-masing kombinasi S_i dan (9) panjang mainsheet yang optimal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan permintaan 14.840 rim A4 , 10.537 rim F4 dan 10.056 rim Q4, panjang main roll yang diproduksi berdasarkan existing data untuk Desember 2022 sepanjang 16,000,000 cm jika diasumsikan bahwa 1 bulan menjadi 4 minggu produksi maka panjang main roll/minggu yang diproduksi adalah 4,000,000 cm. Kombinasi susunan rollsheet dan banyak kertas yang dihasilkan untuk masing-masing jenis ukuran pada perhitungan optimal seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Kombinasi susunan rollsheet dan banyak kertas yang dihasilkan untuk masing-masing jenis ukuran pada hasil optimal

Cara Potong Jenis Kertas	b_{ij}	Hasil Kertas untuk masing jenis ukuran (rim)
A4L	5	14891
A4P	9	
F4L	5	10539
F4P	5	
Q4L	5	10293
Q4P	4	
Sisa potongan (cm)	3.7	

Panjang roll yang dibutuhkan untuk memenuhi minimal 1 rim dari semua jenis ukuran kertas pada kombinasi susunan rollsheet ini adalah 3537,5 cm yang dinamakan base roolsheet (P_i). Berdasarkan perhitungan optimal kebutuhan main roll untuk bulan Desember 2020 adalah 13.923.600 cm (139,236 km) yang menghasilkan 3.936 base roolsheet (x_i), sehingga panjang mainroll yang diproduksi setiap minggu adalah 3.480.900 cm yang menghasilkan 984 base roolsheet atau bisa saja disesuaikan dengan kondisi di pabrik, akan tetapi panjang main roll sheet harus kelipatan dari base roll sheet untuk meminimalisir sisa potongan. Panjang sisa potongan setiap minggu dari hasil potongan roll sheet untuk F4L dan Q4L adalah 4,5 cm, untuk A4L sisanya 11,4 cm dan untuk F4P 17,7 cm. Total luas sisa potongan dari main sheet untuk

perhitungan optimal adalah 190.5 cm². Sementara sisa potongan dari main roll untuk kombinasi optimal adalah 12.879.330 cm² (3,7 x 3.480.900 cm).

Dari Tabel 4 di atas, ada 6 tipe main sheet, salah satunya adalah main sheet untuk A4L terdiri 5 roll sheet, sehingga 4 pisau yang digunakan pada saat memotong berdasarkan lebar. Dan dapat disimpulkan bahwa penggunaan maksimum 8 pisau untuk sheet roll A4P. Komparasi Hasil Produksi Kertas dengan Hasil Perhitungan Optimal untuk Desember 2022 seperti pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5.
Komparasi Hasil Produksi Kertas dengan Hasil Perhitungan Optimal untuk Desember 2022

Jenis Kertas	Existing Data Product ion (rim)	Hasil Perhitungan Optimal (rim)	Dem and (rim)	% Kelebihan Produksi berdasarkan Existing Data Production	% Kelebihan Produksi berdasarkan Perhitungan Optimal
A4	15010	14891	14840	1.15 %	0.34 %
F4	10880	10539	10537	3.26 %	0.02 %
Q4	10350	10239	10056	2.92 %	1.82 %
Total	36240	35669	35433	2.28 %	0.67 %
Rata-Rata				2.44 %	0.73 %

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan terjadi perbedaan antara produksi pabrik aktual dengan perhitungan dengan metode Integer Programming sebesar 571 RIM. Terdapat selisih yang signifikan sebesar 7.32% antar hasil produksi pabrik kondisi nyata dengan data permintaan, yang berarti pabrik memproduksi lebih banyak dari data permintaan yang dibutuhkan pada bulan tersebut dikarenakan kondisi pabrik hanya memakai rentang kebutuhan sebagai acuan awal memproduksi mainroll kertas. Kelebihan terbanyak ada pada produksi kertas F4 dimana terjadi kelebihan sebesar 3.25% dari kebutuhan. Lalu bila hasil perhitungan optimal dibandingkan dengan permintaan dimana hasil optimal tersebut merupakan hasil dari pengimplementasian model matematis dengan menggunakan metode Integer Programming, selisih antara Produksi hasil perhitungan dengan permintaan terjadi penurunan yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan selisih antara hasil produksi pabrik dengan permintaan. Total kelebihan hasil perhitungan optimal dengan permintaan hanya sebesar 2.18% yang dimana angka tersebut memiliki selisih 5.14% antara selisih hasil produksi pabrik dengan hasil optimal. Bahkan untuk produksi kertas F4 yang

bila dalam hasil produksi pabrik menghasilkan kelebihan paling banyak yaitu sebesar 3.25%, dengan menggunakan perhitungan optimal dapat direduksi menjadi hanya 0.02% kelebihannya. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata kelebihan produksi pabrik adalah sebesar 2.44% dengan standar deviasi sebesar 1.13% sedangkan rata-rata produksi dengan hasil optimal sebesar 0.73% dengan standar deviasi sebesar 0.96%. Hal tersebut membuktikan untuk perhitungan Optimal kelebihan produksinya lebih merata dibandingkan dengan kelebihan produksi pada kondisi nyata.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengolahan dan analisa serta pembahasan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

- Efisiensi produksi di perusahaan, khususnya dalam produksi kertas HVS, belum dioptimalkan. Hal ini terlihat dari kapasitas produksi yang melebihi kebutuhan dan tingginya jumlah produk sisa
- Terdapat 926 kemungkinan kombinasi susunan kertas pada mainroll yang memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Kombinasi ini bersifat tetap selama konfigurasi mesin pembuat mainroll tidak mengalami perubahan.
- Hasil perhitungan menunjukkan adanya masalah kelebihan produksi yang cukup signifikan, yaitu sebesar 2,28%. Kertas A4, F4, dan Q4 masing-masing memiliki kelebihan produksi sebesar 1,15%, 3,25%, dan 2,92%. Rata-rata kelebihan produksi secara keseluruhan adalah 2,44%.
- Berdasarkan perhitungan optimal, terdapat kelebihan produksi sebesar 2,18% dibandingkan dengan permintaan secara keseluruhan. Rinciannya, kelebihan produksi untuk kertas A4 adalah 0,34%, F4 sebesar 0,02%, dan Q4 sebesar 1,82%. Rata-rata persentase kelebihan produksi untuk ketiga jenis kertas tersebut adalah 0,73%.
- Metode Integer Programming yang diterapkan dalam penelitian ini efektif dalam meminimalisir kelebihan produksi kertas HVS, sehingga jadwal produksi kertas jenis lainnya dapat terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abuhassan, I.A.O, & Nasereddin, H.H.O., 2011, Cutting stock problem: Solution Behaviors, *International Journal of Recent Research and Applied Studies (IJRRAS)*, 6(4), 429-433.
2. Becceneri, J.C., Hideki, H.H., & Soma, N.Y., 2004, A method for solving the minimization of the maximum number of open stacks problem within a cutting process, *Computers & Operations Research*, 31(14), 2315-2332.
3. Filho, A.A., Moretti, A.C., & Vaz Pato, M., 2018, A comparative study of exact methods for the biobjective integer one-dimensional cutting stock problem, *Journal of the Operational Research Society*, 69(1), 91-107.
4. Chauhan, S.S, Martel, A., & D'Amour, S., (2008), Roll Assortment Optimization in a Paper Mill: An Integer Programming Approach, *Computers & Operations Research*, 35(2), 614-627.
5. Correia, M.H., Oliveira, J.F., & Ferreira, J.S., 2012, Integrated resolution of assignment, sequencing and cutting problems in paper production planning, *International Journal of Production Research*, 50(18), 5195-5212.
6. Linhares, A., & Hideki, H., 2002, Connections between cutting-pattern sequencing, VLSI design, and flexible machines, *Computers & Operations Research*, 29(12), 1759-1772.
7. Mabasher, A., & Ekichi, A., (2013), Solution approaches for the cutting stock problem with setup cost, *Computers & Operations Research*, 40(1), 225-235.
8. Marchand, H., Martin, A., Weismantel, R., & Wosley, L., 2001, Cutting planes in integer and mix integer programming, *Discrete Applied Mathematics*, 123(1-3), 397-446
9. Ogunranti, G.A., & Oluleye, A.E., 2016, Minimizing waste (off-cuts) using cutting stock model: The case of one dimensional cutting stock problem in wood working industry, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 834-859.
10. Silva, E., Alvelos, F., & De Carvalho Valerio, J.M., 2010, An integer programming model for two and three-stage two dimensional cutting stock problems, *European Journal of Operation Research*, 205(3), 699-708