



Studi Kasus

Model *Zero-One Linear Programming* untuk Penjadwalan *Raw Mill* dan *Cement Mill*

Eri Wirdianto, Ericho Chandra Arnes

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Kecamatan Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25163, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: December 5, 17
 Revised: April 19, 18
 Available online: April 27, 18

KEYWORDS

Penjadwalan, Program Linier, *Zero-One Linear Programming*, Waktu Beban Puncak (WBP)

CORRESPONDENCE

Phone: +62(751)7862902
 E-mail: e.wirdianto@gmail.com

A B S T R A C T

The scheduling of electrical energy usage during Peak Load Period (PLP) is a complicated problem that has been faced by PT Semen Padang after Indonesian Power Company (PLN) implemented the demarcation regulation of electrical energy usage during PLP (6:00 – 10:00 p.m.) which may not exceed 44.100 kWh. This regulation forces Production Department of PT Semen Padang to arrange the “on (1) or off (0)” schedule for the Raw Mills and Cement Mills during PLP. A Raw Mill or Cement Mill can be switched-off if the specified criteria are satisfied. Those criteria refer to the achievement of daily production targets, silo content at PLP, and the requirement for particular Raw Mill or Cement Mill to be off during those 4 hours of PLP. Meanwhile, the constraints are related to the length of machining hours of Raw Mill, Kiln or Cement Mill before preventive maintenance takes place. To solve this problem, a scheduling model for Raw Mills and Cement Mills on-off during PLP is then developed using a linear programming approach. The decision variables are the “on-off” state of Raw Mills and Cement Mills during PLP, while the objective function is to minimize the penalty expense of energy used during PLP. The developed scheduling model has the ability to solve the problem of the “on-off” assignment for Raw Mills and Cement Mills from Indarung II to Indarung V. This scheduling model can decrease the penalty of electrical energy expense during PLP from Rp. 3.07 billion to Rp. 1.79 billion.

PENDAHULUAN

PT Semen Padang adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi semen, baik untuk memenuhi permintaan dalam maupun luar negeri. Perencanaan pemakaian listrik secara optimal pada PT Semen Padang mutlak dilakukan, mengingat tingginya konsumsi energi listrik yang dibutuhkan untuk memproduksi semen setiap harinya [1]. Untuk pemakaian listrik, PT Semen Padang setiap bulannya mengeluarkan dana milyaran rupiah yang merupakan bagian biaya produksi perusahaan. Sebagian besar sumber energi listrik PT Semen Padang berasal dari PLN, sehingga menyebabkan tingginya ketergantungan perusahaan terhadap suplai listrik dari PLN. Tanpa adanya jaminan suplai listrik dari PLN, maka sulit bagi perusahaan untuk memproduksi.

Secara bertahap PLN telah melakukan penyesuaian tarif listrik sebagai akibat penghapusan subsidi oleh pemerintah. Disamping itu, PLN pun telah mengeluarkan peraturan denda pemakaian listrik waktu beban puncak (WBP) untuk kalangan industri di seluruh wilayah Indonesia. Akibat kebijakan ini, PT Semen Padang harus mengeluarkan dana tambahan mencapai milyaran rupiah setiap bulannya untuk pemakaian listrik.

Berdasarkan kontrak pemakaian listrik dari PLN, PT Semen Padang diberi akses pemakaian daya listrik sebesar 90.000 kVA. Pemakaian daya yang melebihi kontrak tersebut tidak akan dikenai denda, tetapi hanya membayar sesuai dengan pemakaian daya berlebih yang telah digunakan oleh PT Semen Padang. Namun, PLN kemudian memberlakukan waktu beban puncak untuk PT Semen Padang dari pukul 18.00–22.00 WIB dengan batasan-batasan pemakaian energi yang tidak boleh melebihi 50% dari pemakaian energi rata-rata, yaitu; 44.100 kWh dan pemakaian daya listrik yang tidak boleh melebihi 50% dari beban kontrak, yaitu 45.000 kVA.

PT Semen Padang akan dikenai penalti oleh pihak PLN sebesar dua kali lipat harga per kWh normal untuk setiap kelebihan pemakaian energi yang melebihi 44.100 kWh. PT Semen Padang juga harus membayar penalti untuk setiap pemakaian daya yang melebihi 45.000 kVA pada waktu beban puncak. Besarnya biaya penalti yang harus dikeluarkan untuk setiap kelebihan pemakaian daya, yaitu sebesar dua kali biaya daya per kVA untuk kelebihan pemakaian kVA terbesar selama sebulan. Untuk meminimasi biaya penalti yang harus dibayarkan ini, diperlukan sebuah metode penjadwalan terhadap penggunaan mesin-mesin *Raw Mill*

dan *Cement Mill* sehingga penggunaan energi listrik pada sat WBP dapat diminimalkan.

Metode penjadwalan yang sudah digunakan secara luas adalah penggunaan pendekatan program linier. Penelitian yang sudah dilakukan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan dengan menggunakan program linier diantaranya penjadwalan penggunaan energi listrik di kompleks perumahan [2] dan penjadwalan produksi pada tambang terbuka [3]. Penggunaan program linier pada penelitian-penelitian ini terbukti mampu menyelesaikan permasalahan yang dirumuskan.

Berdasarkan uraian di atas, PT Semen Padang harus melakukan kajian mendalam untuk mengoptimalkan pemakaian energi listriknya. Oleh karena itu, dapat dirumuskan bahwa permasalahan yang dihadapi PT Semen Padang adalah bagaimana cara menjadwalkan penggiliran hidup (1) atau mati (0) *Raw Mill* dan *Cement Mill* pada waktu beban puncak (18.00–22.00 WIB). Penjadwalan ini ditujukan untuk meminimasi biaya pemakaian energi listrik, dengan tetap berpedoman terhadap pencapaian target produksi dan batasan-batasan yang telah ditetapkan perusahaan.

Dengan mempertimbangkan bahwa *Kiln* harus tetap dalam kondisi hidup sepanjang waktu, maka penjadwalan pemakaian energi listrik hanya dilakukan pada *Raw Mill* dan *Cement Mill*. Sementara itu, untuk mendapatkan hasil yang komprehensif dan terintegrasi, seluruh pabrik yang beroperasi di PT Semen Padang harus diperhitungkan di dalam model yang dibangun. Jadi, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah membuat model penjadwalan hidup (1) atau mati (0) dari *Raw Mill* dan *Cement Mill* Indarung II sampai Indarung V dengan menggunakan pendekatan program linier untuk meminimasi biaya penalti energi listrik waktu beban puncak (WBP) dan perancangan program aplikasinya.

Perencanaan dan Pengendalian Produksi

Perencanaan produksi berkaitan dengan penentuan apa yang akan diproduksi, berapa banyak dan kapan diproduksi. Tujuan dari sistem perencanaan produksi adalah untuk membuat sebuah jadwal produksi yang layak, dalam hal ini adalah Jadwal Induk Produksi (JIP). Permintaan konsumen yang akan dikerjakan, termasuk hasil peramalan dan pesanan konsumen yang diterima, diubah menjadi suatu JIP yang akan dikerjakan di lantai produksi berdasarkan kapasitas dan kemampuan kerja semua sumber yang ada. Jadwal atau rencana produksi diharapkan produktif, dapat diandalkan, tahan uji dan realistis. Produktif dalam arti rencana berhubungan dengan permintaan pasar dan dapat berkontribusi terhadap tujuan perusahaan. Dapat diandalkan dan tahan uji dalam arti jadwal tersebut dapat mewakili kemampuan sumber yang tersedia dan mampu bertahan terhadap gangguan yang datang. Realistis dalam arti jadwal dapat dikerjakan dengan sumber yang tersedia, termasuk suplai bahan baku. Sedangkan pengendalian produksi berkaitan dengan penentuan JIP tersebut terlaksana dengan baik, dan jika tidak, tindakan-tindakan apa yang harus diambil untuk memperbaikinya [4].

Penjadwalan Produksi

Penjadwalan adalah suatu persoalan pengalokasian pekerjaan kepada sumber daya yang dimiliki, termasuk tenaga mesin dan manusia, yang mempunyai kapasitas dan jumlah yang terbatas

dalam suatu jangka waktu tertentu untuk memenuhi JIP yang telah ditetapkan. Beberapa tujuan dilakukannya penjadwalan antara lain [5]:

1. Meningkatkan penggunaan (utilitas) sumber.
Dari beberapa tujuan penjadwalan, yang paling sering dihadapi adalah bagaimana meningkatkan utilitas peralatan atau sumber daya yaitu dengan cara menekan waktu menganggur sumber daya.
2. Mengurangi *Work in Process* (WIP), untuk mengurangi rata-rata jumlah pekerjaan yang menunggu untuk diproses pada sumber. Hal ini dilakukan dengan cara meminimasi jumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian sementara sumber daya melakukan pekerjaan lainnya.
3. Pemenuhan saat pengiriman dan mengurangi keterlambatan. Sejumlah pekerjaan biasanya memiliki batas waktu penyelesaian pekerjaan (*due date*), dan apabila pekerjaan selesai setelah *due date* akan dikenakan penalti. Terdapat beberapa tujuan berkenaan dengan kelambatan. Tujuan penjadwalan dapat berupa minimasi kelambatan maksimum, atau dapat berupa mengurangi jumlah pekerjaan yang terlambat.

Penjadwalan produksi sangat esensial dalam kegiatan manufaktur untuk memperoleh efektivitas biaya dan produksi tepat waktu, dan juga mampu memenuhi batas waktu penyerahan produk pada tingkat mutu yang diinginkan [6]. Masalah penjadwalan seringkali muncul jika terdapat sekumpulan pekerjaan yang harus diselesaikan. Diperlukan suatu cara untuk mengatur pekerjaan yang akan dikerjakan lebih dahulu, bagaimana urutan kerja berikutnya, dan bagaimana pengalokasian pekerjaan pada mesin-mesin yang akan menjamin pencapaian tujuan penjadwalan. Program linier adalah salah satu metode kuantitatif yang ampuh dan paling sering digunakan oleh manajer operasi dalam menyelesaikan persoalan-persoalan tersebut [7].

Program Linier

Persoalan program linier secara umum berkaitan dengan penggunaan atau pengalokasian sumberdaya-sumberdaya yang terbatas (tenaga kerja, material, mesin, kapital dan lain-lain) dengan cara terbaik yang mungkin sehingga biaya dapat diminimasi atau keuntungan dapat dimaksimalkan [8]. Program linier merupakan suatu cara untuk menyelesaikan persoalan pengalokasian sumber daya yang terbatas diantara beberapa aktivitas yang bersaing untuk menggunakan sumber daya tersebut; seperti persoalan pengalokasian fasilitas produksi, pengalokasian sumber daya nasional untuk kebutuhan domestik, penjadwalan produksi, dan pemilihan pola pengiriman (*shipping*) [9].

Terminologi program linier memiliki kondisi berikut ini [8]:

1. Variabel keputusan yang terlibat dalam persoalan adalah *nonnegative* (yaitu: positif atau nol)
2. Kriteria yang digunakan untuk memilih nilai terbaik dari variabel keputusan digambarkan dalam bentuk fungsi linier dari variabel-variabel tersebut, yaitu fungsi matematis dimana pangkat tertinggi dari variabel-variabelnya adalah satu dan tidak ada perkalian silang antar variabel. Fungsi kriteria ini umumnya disebut sebagai fungsi tujuan.
3. Ketentuan yang mengatur proses (yaitu: kelangkaan sumberdaya) dinyatakan dalam suatu kumpulan persamaan

atau pertidaksamaan linier. Kumpulan persamaan atau pertidaksamaan ini disebut sebagai himpunan kendala.

Jika sejumlah m sumber yang terbatas harus dialokasikan diantara sejumlah n aktivitas yang bersaing, maka untuk memecahkan persoalan ini terlebih dahulu dibuat formulasi masalahnya. Bentuk umum masalah program linier adalah sebagai berikut [10]:

Fungsi tujuan:

$$\text{Optimumkan } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

Dengan Kendala:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n & (\leq, =, \geq) b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n & (\leq, =, \geq) b_2 \\ \dots & \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n & (\leq, =, \geq) b_m \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 & \end{aligned} \quad (1)$$

Integer Linear Programming

Banyak persoalan aktual dalam hal produksi, logistik, ekonomi, ilmu sosial, politik dan lain-lain dapat diformulasikan sebagai persoalan optimisasi program linier integer [11]. Beberapa contoh penggunaan program linier integer dapat dilihat pada penentuan ukuran batch integer pada penjadwalan flowshop [12], penentuan rute pendistribusian produk [13], dan penjawalan kuliah [14]. Persoalan program linier integer (*integer (linear) programming problem* (IP) adalah sebuah program linier dimana setidaknya satu variabel di dalam model dibatasi bernilai integer [15].

Bentuk umum persoalan program linier integer dapat dituliskan sebagai berikut [11]:

$$\begin{aligned} \text{Maximize} & \quad \mathbf{cx} \\ \text{Dengan Kendala:} & \quad \mathbf{Ax} \leq \mathbf{b} \\ & \quad \mathbf{x} \in \mathbf{Z}^n \end{aligned} \quad (2)$$

dimana solusi $\mathbf{x} \in \mathbf{Z}^n$ adalah vektor variabel integer: $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$.

Zero-one linear programming merupakan bentuk khusus dari program linier integer dimana solusi \mathbf{x} adalah variabel integer 0 atau 1.

Metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan program linier integer dapat dikelompokkan ke dalam dua bagian [11, 15]:

1. Metode solusi eksak, diantaranya:
 - Algoritma *Cutting Planes* berdasarkan *polyhedral combinatorics*
 - Pendekatan *Enumerative*, metode *Branch-and-Bound*, *Branch-and-Cut*, dan *Branch-and-Price*
 - Teknik-teknik relaksasi dan dekomposisi
2. Pendekatan *metaheuristik* dan *population-based evolutionary algorithms*, diantaranya:
 - *Simulated Annealing*
 - *Tabu Search*
 - *Genetic Algorithm*
 - *Scatter Search*

- *Ant Colony Optimization*
- *Particle Swarm Optimization*

Pemodelan Sistem

Model merupakan suatu gambaran yang ideal, dinyatakan dalam notasi-notasi dan ungkapan-ungkapan matematika [16]. Jika ada n keputusan yang saling berkaitan dan dapat dinyatakan secara kuantitatif, maka keputusan dinyatakan sebagai variabel keputusan (pada penelitian ini, variabel keputusan adalah penentuan status nyala atau mati *Raw Mill* dan *Cement Mill*) yang nilainya harus ditentukan. Ukuran kinerja yang sesuai (misalnya minimasi pemakaian listrik) dinyatakan sebagai fungsi matematis dari variabel-variabel keputusan (misalnya $Z = 3x_1 + 2x_2 + \dots + 5x_n$) dinamakan sebagai fungsi tujuan. Setiap batasan variabel-variabel keputusan yang dinyatakan secara matematis (misalnya $x_1 + 3x_2 + 2x_3 \leq 10$) dinamakan kendala.

Bentuk model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model matematika. Matematika berusaha mempelajari keteraturan hubungan antar lambang, simbol atau unsur yang mempunyai arti (mewakili objek tertentu) dengan aturan-aturan tertentu. Hasil pemahaman digunakan sebagai titik tolak untuk memetakan atribut-atribut sistem nyata menjadi simbol-simbol yang disebut variabel. Kumpulan keterkaitan variabel-variabel yang berbentuk formulasi atau fungsi persamaan dan pertidaksamaan yang mengekspresikan sifat pokok dari sistem atau proses fisis dalam istilah matematika disebut model matematika [17].

Di dalam analisis model matematika dapat diambil keputusan yang berkaitan dengan masalah optimasi yaitu untuk menemukan kombinasi yang optimum dari faktor-faktor yang berhubungan, menemukan jalan keluar yang paling baik dalam menghadapi situasi yang banyak terdapat ketidakpastian, menguji pemecahan suatu masalah dan sebagainya.

Pengujian Hipotesis untuk Pengamatan Berpasangan

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian hipotesis tentang kesamaan hasil dari model dengan kondisi aktual. Pada kondisi ini dilakukan penaksiran selisih dua rata-rata yang tidak saling bebas. Hasil pengujian ini digunakan untuk menyimpulkan validitas dari model yang dibangun. Perhitungan selang kepercayaan untuk $\mu_1 - \mu_2$ didasarkan pada peubah acak [18],

$$T = \frac{\bar{D} - \mu_D}{S_d / \sqrt{n}} \quad (3)$$

Uji hipotesis dilakukan terhadap $H_0: \mu_D = d_0$, nilai statistik ujinya diberikan oleh,

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} \quad (4)$$

dan daerah kritis ditentukan dengan distribusi-t pada derajat bebas $n-1$.

METODOLOGI

Tahap-tahap yang dilalui untuk penyelesaian masalah dalam penelitian ini dijelaskan pada bagian berikut.

Perancangan Model

Model merupakan suatu gambaran yang ideal, dinyatakan dalam notasi-notasi dan ungkapan-ungkapan matematika. Tahap awal dari perancangan model adalah penentuan variabel keputusan dari permasalahan. Pada penelitian ini, variabel keputusannya adalah penentuan status hidup (1) atau mati (0) dari *Raw Mill* dan atau *Cement Mill* pada waktu beban puncak. Pada model, ini disimbolkan dengan $x_{ij} = 1$ (hidup) atau 0 (mati). Pada permasalahan ini, x adalah keadaan hidup atau mati *mill*, i adalah mesin ke- i , yaitu *Raw Mill*, *Kiln* dan *Cement Mill* Indarung II sampai Indarung V, dan j adalah jam kerja ke- j , yaitu jam di luar WBP dari pukul 22.00–18.00 WIB dan jam WBP dari pukul 18.00–22.00 WIB. Setelah itu, masuk ke tahap pembangunan model, dengan fungsi tujuannya adalah minimasi biaya listrik waktu beban puncak.

Pengertian jam ke- j dalam model dapat dijelaskan sebagai berikut:

Jam di luar waktu beban puncak (LWBP)

Jam ke- j	Waktu
1	22.00 – 23.00
2	23.00 – 00.00
3	00.00 – 01.00
...	...
20	17.00 – 18.00

Jam waktu beban puncak (WBP)

Jam ke- j	Waktu
21	18.00 – 19.00
22	19.00 – 20.00
23	20.00 – 21.00
24	21.00 – 22.00

Pada waktu beban puncak, terdapat batasan pemakaian energi listrik yaitu tidak boleh melebihi 44.100 kWh. Apabila melebihi ketentuan, maka akan dikenai penalti dua kali lipat. Sedangkan yang menjadi pembatas dari model ini secara keseluruhan terkait dengan rencana produksi harian *Raw Mill*, *Kiln* dan *Cement Mill*, batas minimum dan maksimum silo, dan jam jalan minimum dari *Raw Mill*, *Kiln*, dan *Cement Mill* sebelum perawatan.

Untuk memfokuskan penelitian yang dilakukan, maka ditetapkan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Penelitian dibatasi hanya untuk meminimasi biaya penalti energi (kWh) waktu beban puncak pada pabrik PT Semen Padang, sedangkan besar penalti terhadap daya (kVA) waktu beban puncak tidak diperhitungkan.
2. Penjadwalan pemakaian listrik waktu beban puncak di fokuskan untuk kegiatan operasi *Raw Mill* dan *Cement Mill* mulai dari pabrik Indarung II sampai Indarung V, sedangkan untuk *Cement Mill* Indarung I tidak diperhitungkan mengingat *Cement Mill* Indarung I hanya beroperasi apabila ada permintaan semen khusus dari pelanggan.
3. Pemakaian listrik yang diperhitungkan adalah yang berasal dari kontrak listrik dengan PLN, sedangkan pemakaian listrik yang berasal dari pembangkit sendiri, seperti dari PLTA PT Semen Padang tidak diperhitungkan.
4. Kondisi kerusakan alat yang tidak terencana (*troubleshooting*) dan *standby* alat untuk *Raw Mill* dan

Cement Mill tidak diperhitungkan, karena kondisi *troubleshooting* dan *standby* pada *mill* bersifat random dan sulit diperkirakan setiap harinya.

Kondisi yang diperhitungkan yaitu jadwal kegiatan perawatan terencana dari *Raw Mill*, *Kiln*, dan *Cement Mill*, sebagai berikut:

- a. *Raw mill* : 14 jam /2 minggu
 - b. *Kiln* : 15–20 hari/6–8 bulan
 - c. *Cement mill* : 14 jam/2 minggu
5. Data yang digunakan sebagai *input* pada penelitian ini adalah data ton produksi sesaat WBP, isi silo sesaat WBP dan target produksi bulanan dari *Raw Mill*, *Kiln* dan *Cement Mill*.
 6. *Kiln* harus beroperasi 24 jam dan tidak dapat dimatikan pada waktu beban puncak. Operasi *Kiln* berhenti apabila telah jatuh jadwal *maintenance Kiln* untuk mengganti batu tahan api *Kiln*. Apabila *Kiln* mati, maka *Raw Mill* akan ikut mati, karena *Raw Mill* memakai panas dari *Kiln* untuk beroperasi. Sedangkan *Cement Mill* dapat terus berproduksi pada waktu *Kiln* mati sampai isi silo *klinker* mencapai batas minimum.
 7. Adanya masalah *breaking* pada *Kiln*, kerusakan alat ekstrim yang mengakibatkan pabrik berhenti operasi dalam waktu yang cukup lama di luar perkiraan perusahaan tidak diperhitungkan.

Asumsi-asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Adanya pemakaian alat tambahan yang dapat digunakan untuk menghemat penggunaan pemakaian listrik untuk mencapai target produksi semen tidak diperhitungkan.
2. Pemakaian listrik untuk proses penggilingan *klinker* dan *gypsum* pada *Cement Mill* untuk jenis produk Tipe I, SMC dan PPC diasumsikan sama.
3. Loncatan listrik awal pada waktu *setup* untuk menghidupkan mesin diabaikan, karena loncatan listrik yang untuk menghidupkan mesin itu hanya berlangsung dalam waktu yang sangat pendek.

Verifikasi dan Validasi Model

Pada penelitian ini, verifikasi model dilakukan dengan pendekatan uji dimensi dari formulasi model. Uji dimensi dilakukan untuk melihat kesesuaian dimensi dari persamaan yang dihasilkan dari model. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan manual isi silo (isi silo diperoleh dari hasil pengurangan isi silo kondisi ke-0 dengan laju pengosongan silo, kemudian ditambah laju pengisian silo) dengan isi silo kondisi sistem nyata sesaat waktu beban puncak.

Perancangan Program Penjadwalan Pemakaian Listrik pada WBP

Perancangan program dilakukan untuk mempermudah dan mempercepat pengambilan keputusan penjadwalan pemakaian listrik waktu beban puncak. Solusi yang dihasilkan diharapkan memiliki tingkat akurasi dan ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem *trial and error* yang dilakukan perusahaan selama ini terkait dengan masalah meminimasi biaya penalti energi listrik waktu beban puncak. Pada tahap perancangan ini ditentukan langkah-langkah kerja program dan hal-hal yang harus diperhatikan pada waktu menjalankan program penjadwalan pemakaian listrik waktu beban puncak.

Software yang akan digunakan untuk pembuatan program penjadwalan pemakaian listrik ini adalah software Matlab®.

Verifikasi dan Validasi Program

Setelah model yang dihasilkan valid, maka dilakukan verifikasi dan validasi program. Verifikasi program dilakukan dengan cara mengkonfirmasi program yang telah dibuat dengan pihak yang akan menggunakan program, dalam hal ini staf PTP PT Semen Padang. Program yang dirancang diharapkan dapat memenuhi keinginan dari pengguna program tersebut. Validasi terhadap program dilakukan dengan cara membandingkan output yang dihasilkan dari program dengan output yang dihasilkan dari model. Apabila output yang dihasilkan oleh program sesuai dengan output dari model, maka dapat dikatakan program yang dirancang valid dan telah dapat merepresentasikan sistem nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Sistem

Secara garis besar, aktivitas produksi semen melalui 5 tahapan, yaitu : (1) Penambangan bahan mentah seperti batu kapur dan silika; (2) Aktivitas penggilingan bahan baku pada Raw Mill; (3) Homogenisasi dan pencampuran material; (4) Pembakaran hasil homogenisasi material pada suhu tinggi di Kiln; (5) Penggilingan kembali pembakaran dengan penambahan gypsum dan material ketiga yang menghasilkan semen; (6) Pengantongan semen untuk permintaan semen kantong di Packing Plan. Untuk lebih jelasnya mengenai urutan diagram alir operasi yang terjadi di Pabrik PT Semen Padang, dapat dilihat pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 3.

Input Penjadwalan Pemakaian Listrik Waktu Beban Puncak

Untuk dapat melaksanakan penjadwalan pemakaian listrik waktu beban puncak, maka diperlukan variabel-variabel yang

mendukung. Variabel yang diperlukan untuk penjadwalan listrik waktu beban puncak adalah sebagai berikut:

- a. Variabel pembatas
 - Target produksi (*T*, satuan ton) dari raw mix, klinker dan semen.
 - Jumlah isi silo (*S*, satuan ton) dari raw mix, klinker, dan semen sesaat sebelum waktu beban puncak.
 - Jadwal perawatan Raw Mill, Kiln dan Cement Mill (*M*, satuan jam).
- b. Parameter
 - Laju pengisian silo Raw Mill, Kiln dan Cement Mill (*v*, ton/jam).
 - Laju pengosongan silo Raw Mill, Kiln dan Cement Mill (*L*, ton/jam).

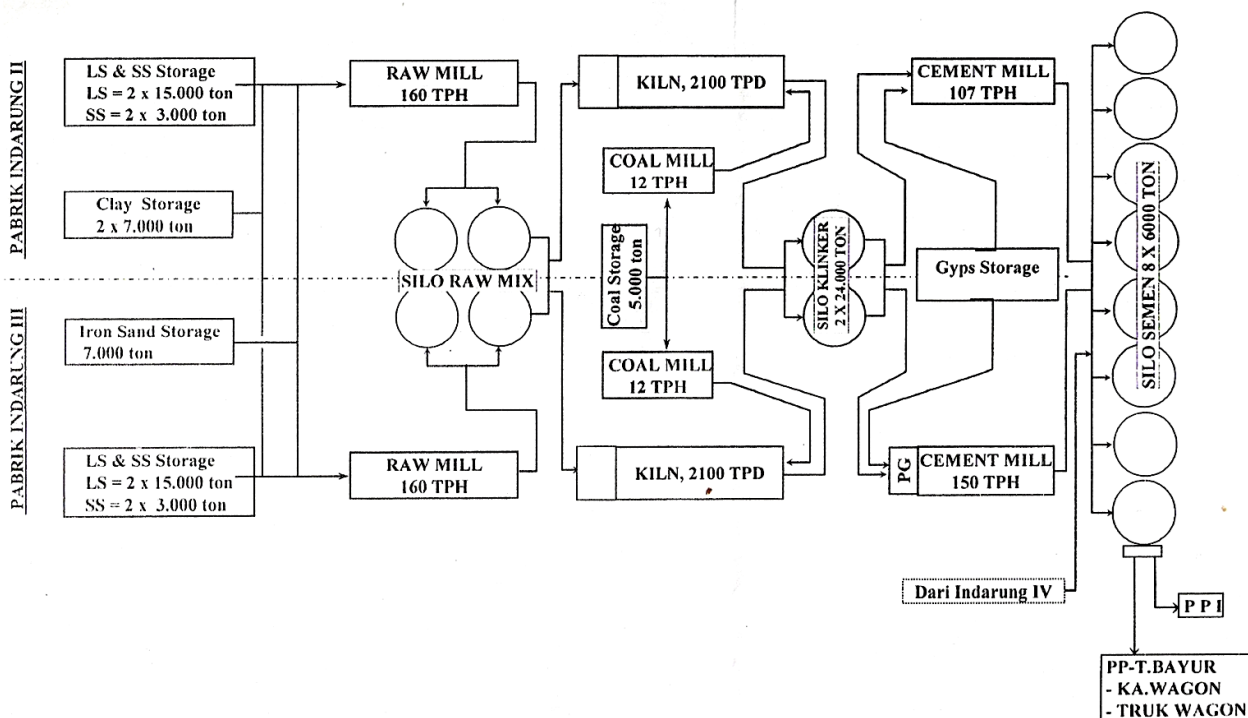
Formulasi Model

Hubungan antara variabel yang relevan dapat dilihat pada Gambar 4 dengan penjelasannya sebagai berikut:

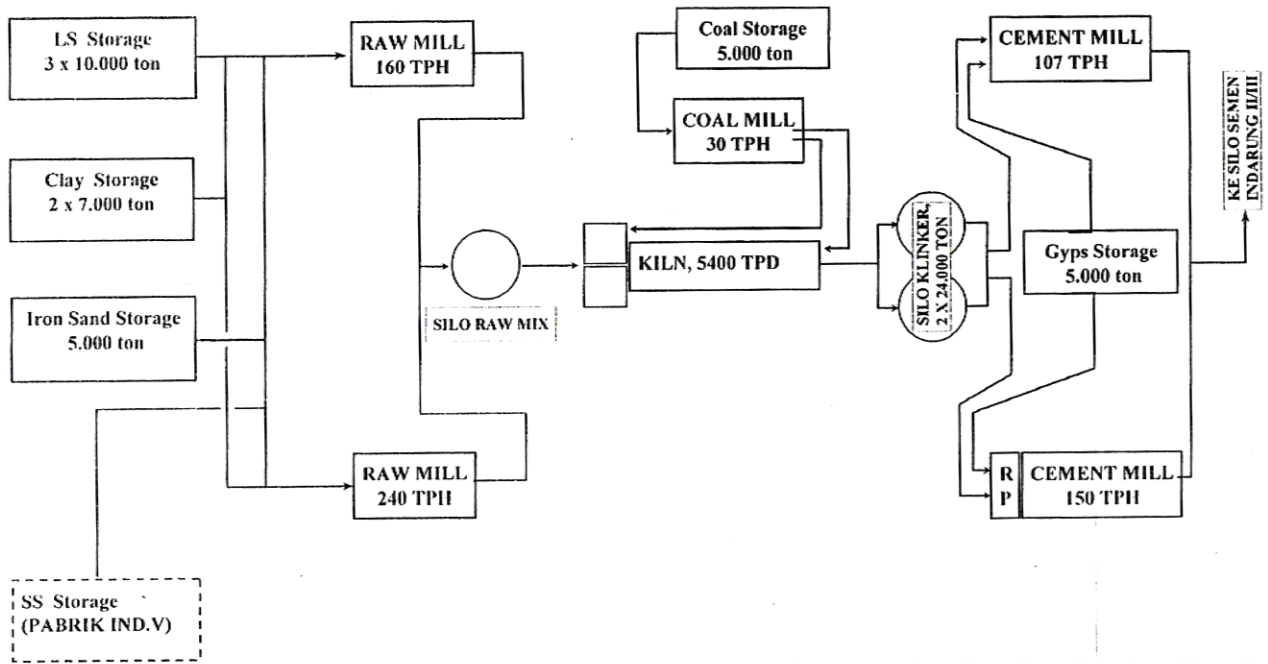
1. *J* (Jam produksi tiap hari, satuan jam)

Jam produksi merupakan jam kerja produktif perusahaan setiap hari untuk menghasilkan raw mix, klinker dan semen. Jam produksi di luar dari jam perawatan, troubleshooting dan standby mill. Semakin panjang jam produksi, maka akan semakin banyak ton dari raw mix, klinker dan semen yang dihasilkan.
2. *T* (Produksi, satuan ton)

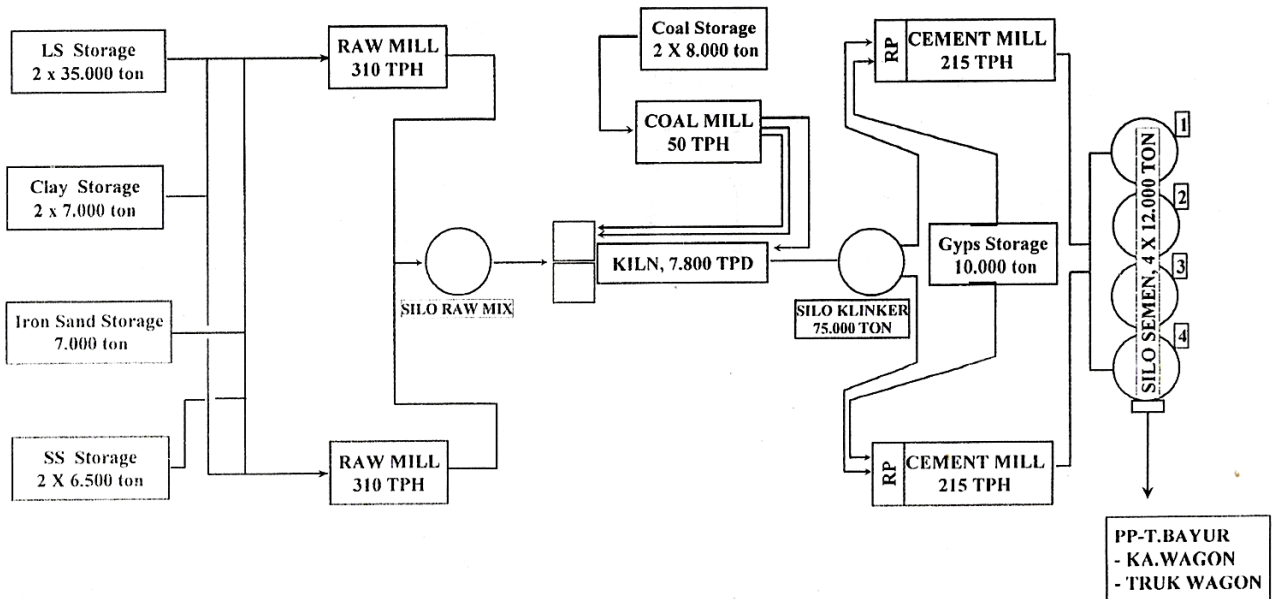
Berapa produksi bulanan dari raw mix, klinker dan semen yang ditetapkan berdasarkan Rencana Kerja Anggaran Perusahaan. Produksi harian dihitung berdasarkan rencana bulanan yang ditetapkan perusahaan dan disesuaikan dengan penjadwalan listrik yang dilakukan, yaitu penjadwalan hidup-mati harian Raw Mill dan Cement Mill pada WBP.



Gambar 1. Diagram Alir Operasi Pabrik Indarung II dan III



Gambar 2. Diagram Alir Operasi Pabrik Indarung IV



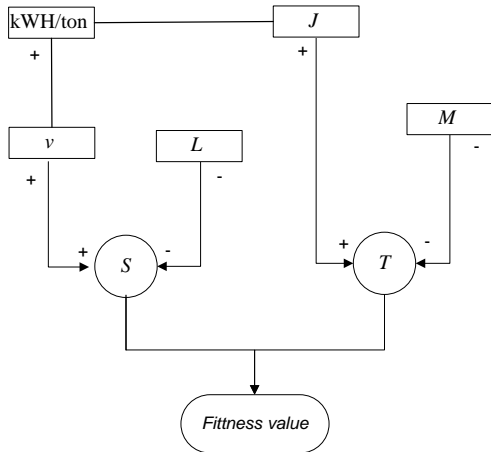
Gambar 3. Diagram Alir Operasi Pabrik Indarung V

3. S (Kondisi awal isi silo, satuan ton)
Kondisi awal isi silo, dipengaruhi oleh laju pengisian silo dan laju pengosongan dari silo *raw mix*, *klinker* atau semen. Kondisi awal isi silo semakin bertambah apabila laju pengisian silo lebih besar daripada laju pengosongan silo, demikian sebaliknya.
4. v (Laju pengisian silo, satuan ton/jam)
Laju pengisian silo ditentukan oleh konsumsi energi (kWH) dan batas laju pengisian silo *raw mix*, *klinker* atau semen Indarung II sampai Indarung V.
5. L (Laju pengosongan silo, satuan ton/jam)
Laju pengosongan silo ditentukan oleh batas laju pengosongan silo *raw mix*, *klinker* atau *Cement* Indarung II sampai Indarung V.
6. kWH/ton (Pemakaian energi untuk memproduksi 1 ton *raw mix*, *klinker* atau semen, satuan kWH/ton).
Merupakan kebutuhan energi (kWH) untuk memproduksi 1 ton *raw mix*, *klinker* atau semen sebagai mana yang ditunjukkan dalam Tabel 1.
7. M (*Maintenance*, satuan jam)
Jadwal *maintenance* *Raw mill*, *Kiln* dan *Cement mill* telah ditetapkan perusahaan. Semakin banyak waktu yang dibutuhkan untuk *Maintenance*, maka akan semakin pendek

jam produksi *Raw Mill*, *Kiln* dan *Cement Mill* yang nantinya dapat menurunkan ton produksi *raw mix*, *klinker* dan semen.

8. Z (Biaya penalti, satuan Rupiah)

Biaya penalti akan semakin besar apabila semakin besar penggunaan kWh waktu beban puncak setiap hari dan penggunaan kWh akan semakin besar apabila semakin banyak *Raw Mill* dan *Cement Mill* Indarung II sampai Indarung V yang hidup waktu beban puncak. Biaya penalti kWh dapat diminimasi dengan cara menggilirkan hidup atau mati *Raw Mill* dan *Cement Mill* Indarung II sampai Indarung V yang memenuhi ketentuan untuk dimatikan waktu beban puncak.



Gambar 4. Hubungan antara Variabel yang Relevan

Tabel 1. Pemakaian Energi Listrik per Pabrik

Pabrik	Pemakaian Energi (kWh/ton)
Indarung II	
Raw Mill	24
Kiln	40
Cement Mill	41
Indarung III	
Raw Mill	24
Kiln	40
Cement Mill	41
Indarung IV	
Raw Mill IVA	24
Raw Mill IVB	14
Kiln	39
Cement Mill IVA	41
Cement Mill IVB	39
Indarung V	
Raw Mill VA	13,5
Raw Mill VB	13,5
Kiln	39
Cement Mill VA	40
Cement Mill VB	40

Variabel Keputusan

Variabel keputusan penjadwalan pemakaian listrik waktu beban puncak dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{hidup} \\ 0 & \text{mati} \end{cases} \quad (5)$$

Fungsi Tujuan

Tujuan dari sistem secara matematis dinyatakan dalam fungsi tujuan :

$$\text{Min } Z = BP \times \left[\left(\sum_{j=21}^{24} \sum_{i=1}^{16} x_{ij} \cdot d_i \right) - 44.100 \right] \quad (6)$$

Fungsi Kendala

Fungsi kendala yang digunakan dalam model adalah sebagai berikut:

1. Kendala yang terkait dengan dengan target produksi *raw mix*, *klinker* dan semen.

Produksi sampai sesaat WBP akan dimulai +
Produksi selama WBP \geq Target Produksi

$$A_i + \sum_{j=21}^{24} v_i \cdot x_{ij} \geq T_i \quad (7)$$

$$A_i = \sum_{j=1}^{20} v_i \cdot y_{ij} \quad (8)$$

nilai A_i dimasukkan secara langsung tanpa melalui proses kalkulasi terlebih dahulu.

2. Kendala yang terkait dengan batas minimum dan maksimum silo *raw mix*, *klinker* dan semen.

Isi silo sampai sesaat WBP dimulai - Laju pengosongan silo selama WBP + Laju pengisian silo selama WBP \leq Batas maksimum silo dapat dimatikan

$$B_k - \sum_{j=21}^{24} L_k + \sum_{j=21}^{24} v_i \cdot x_{ij} \leq F_k \quad (9)$$

Isi silo sampai sesaat WBP dimulai - Laju pengosongan silo selama WBP + Laju pengisian silo selama WBP \geq Batas minimum silo dapat dimatikan

$$B_k - \sum_{j=21}^{24} L_k + \sum_{j=21}^{24} v_i \cdot x_{ij} \geq E_k \quad (10)$$

Dimana :

$$B_k = \sum_{j=1}^{20} v_i \cdot y_{ij} - \sum_{j=1}^{20} L_k + S_k \quad (11)$$

nilai B_k dimasukkan secara langsung tanpa melalui proses kalkulasi terlebih dahulu. Hal ini ditujukan untuk melihat berapa isi silo sesaat WBP akan dimulai

3. Kendala *Raw Mill* atau *Cement Mill* yang dimatikan pada waktu beban puncak. *Raw Mill* atau *Cement Mill* tidak boleh dimatikan 1, 2, atau 3 jam dari waktu beban puncak, tetapi harus dimatikan selama 4 jam penuh.

Hal ini dapat dituliskan sebagai berikut :

$$x_{i,21} = x_{i,22} = x_{i,23} = x_{i,24} \quad (12)$$

4. *Kiln* harus selalu dalam keadaan hidup.
- Hal ini dapat dituliskan sebagai berikut :

$$x_{13,j} = x_{14,j} = x_{15,j} = x_{16,j} = 1 \quad (13)$$

5. Kendala terkait dengan jam jalan *Raw Mill*, *Kiln*, dan *Cement Mill* sebelum perawatan. *Raw Mill* dan *Cement Mill*

memiliki batasan jam jalan produksi antara 313 jam sampai 336 jam sebelum jatuh jadwal perawatan selama 14 jam.

$$P_i + \sum_{j=21}^{24} x_{ij} \leq 336, \quad i = 1,2, \dots, 12 \quad (14)$$

$$P_i + \sum_{j=21}^{24} x_{ij} \geq 313, \quad i = 1,2, \dots, 12 \quad (15)$$

Sedangkan batas jam produksi *Kiln* sebelum *maintenance*

$$P_i + \sum_{j=21}^{24} x_{ij} \leq 5880, \quad i = 13,14,15,16 \quad (16)$$

$$P_i + \sum_{j=21}^{24} x_{ij} \geq 4344, \quad i = 13,14,15,16 \quad (17)$$

Verifikasi dan Validasi Model Penjadwalan Pemakaian Listrik WBP

Proses verifikasi yang dilakukan melalui uji dimensi menunjukkan model telah *verified*. Validasi merupakan proses pengujian model matematis. Validasi model adalah tahap terakhir dari pemodelan yang meliputi pendefinisian suatu prosedur yang memutuskan apakah model yang diberikan memadai atau tidak. Dalam penelitian ini, untuk melihat apakah model yang dirancang valid dan sesuai dengan sistem nyata, maka dilakukan perbandingan antara perhitungan manual model dengan hasil dari kondisi sistem nyata. Apabila *output* dari model sama atau mendekati sistem nyata, maka disimpulkan model yang dirancang valid. Validasi model dilakukan dengan menggunakan metode uji pengamatan berpasangan (*matched pairs*) pada tingkat kepercayaan 95%.

Berikut ini contoh perhitungan untuk menguji validitas model yang dikembangkan. Contoh perhitungan yang dilakukan adalah untuk kondisi pada tanggal tertentu sebagai berikut:

Raw Mill Indarung II

A₁ = Produksi sampai sesaat WBP dimulai

A₁ = 3.128 ton

T₁ = Target produksi harian *Raw Mill* Indarung II

T₁ = 2.880 ton

A₁ ≥ T₁ (kendala I terpenuhi)

B_a (Isi aktual silo a sampai sesaat WBP dimulai) = Isi silo 1 + Isi silo 2

B_a = 5.320 ton (Batas maksimum dan minimum silo 1 dan 2 dapat dimatikan pada WBP yaitu 20000 ton dan 5000 ton, kendala II terpenuhi).

Bila *Raw Mill* dimatikan selama WBP, maka isi silo sesaat setelah WBP:

$$B_a - \sum_{j=21}^{24} L_a + \sum_{j=21}^{24} v_1 \cdot y_{1j} = 5.320 - (144 \times 4) + (152 \times 0) = 4.744 \text{ ton}$$

Maka *Raw Mill* Indarung II harus hidup selama WBP, karena kalau dimatikan selama WBP, maka silo akan kritis. Sehingga berdasarkan perhitungan isi silo sesaat sebelum WBP pada hari berikutnya akan menjadi:

$$B_a - \sum_{j=1}^{24} L_a + \sum_{j=1}^{24} v_1 \cdot y_{1j} = 5.320 - (144 \times 24) + (152 \times 24) = 5.512 \text{ ton}$$

Sedangkan berdasarkan kondisi aktual diperoleh nilai sebesar 5.510 ton. Terdapat perbedaan hasil model dengan kondisi aktual sebesar 2 ton. Hasil perhitungan selengkapnya ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Contoh Uji Pengamatan Berpasangan untuk *Raw Mill* Indarung II

Hari ke-	Isi silo Sesaat WBP Aktual (ton)	Isi silo Sesaat WBP Model (ton)	Selisih
1	5,285	-	
2	5,320	5,477	157
3	5,510	5,512	2
4	5,730	5,702	-28
5	6,010	5,314	-696
6	6,170	5,594	-576
7	6,575	5,754	-821
8	6,730	7,404	674
9	5,685	6,314	629
10	7,360	5,269	-2,091
11	7,510	6,944	-566
12	7,810	7,094	-716
13	7,820	7,394	-426
14	7,820	8,012	192
15	7,820	7,404	-416
16	7,820	7,037	-783
17	7,385	7,404	19
18	6,580	7,577	997
19	6,565	6,772	207
20	6,255	6,149	-106
21	5,365	5,839	474
22	6,900	5,557	-1,343
23	6,845	6,484	-361
24	5,780	7,037	1,257
25	5,810	5,364	-446
26	5,655	5,394	-261
27	5,590	5,239	-351
28	5,780	5,174	-606
29	5,925	5,364	-561
30	6,135	5,509	-626
Rata-rata			-247
Deviasi Standar			683

Perbandingan berpasangan yang dilakukan untuk rentang waktu satu bulan pada *Raw Mill* Indarung II seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1 di atas, diperoleh nilai statistik uji *t* sebesar -1,951. Berdasarkan tabel distribusi *t* untuk α = 0.05 dan derajat bebas 28 diperoleh daerah kritis *t* < -2,048 dan *t* > 2,048. Karena nilai nilai *t* yang diperoleh berada di luar daerah kritis, maka model disimpulkan valid. Pengujian yang sama dilakukan untuk seluruh komponen model dan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa model valid.

Perancangan Program Penjadwalan Pemakaian Listrik

Untuk mempermudah dan mempercepat proses perhitungan terhadap masalah penjadwalan pemakaian listrik waktu beban puncak, perhitungan biaya listrik dan besarnya biaya penalti yang ditanggung pabrik PT Semen Padang setiap harinya, maka perlu dilakukan perancangan program penjadwalan pemakaian listrik waktu beban puncak. Dengan bantuan program, maka dapat ditentukan jadwal pemakaian listrik untuk *Raw Mill* dan *Cement Mill* pada waktu beban puncak dan perhitungan biaya listrik dengan cepat. Selain untuk memudahkan perhitungan, program

memudahkan proses analisis terhadap solusi yang didapatkan sehingga dapat mempercepat pengambilan keputusan. Pada penelitian ini program dibuat dengan menggunakan *software Matlab®*.

Program yang dirancang dibagi menjadi beberapa fungsi. Fungsi ini berguna untuk mengatur tampilan visual program, menyimpan data, mengubah nilai *input*, serta menjalankan proses perhitungan. Fungsi dalam program penjadwalan pemakaian listrik waktu beban puncak dijelaskan sebagai berikut:

1. Fungsi file

Fungsi ini berisi beberapa prosedur, yaitu :

- Prosedur *load* data digunakan untuk memanggil data parameter, laju pengisian silo dan laju pengosongan silo, batas maksimal dan batas minimal silo yang disimpan di program dalam bentuk *Ms Excel*. Kelebihan program ini terletak pada pemanggilan data yang dapat di ganti sesuai keinginan. Apabila perusahaan ingin menurunkan batas minimal silo yang telah dibuat, maka dapat di ganti data pada *Ms Excel*. Dengan memanggil data yang telah disimpan pada *Ms Excel*, maka program akan jalan dengan batasan dari data yang telah diubah pada *Ms Excel* tersebut.
- Prosedur *load input* digunakan untuk memanggil kembali hasil penjadwalan yang telah disimpan. Hal ini berguna sebagai arsip bagi perusahaan.
- Prosedur *save* untuk menyimpan *output* yang dihasilkan dari proses perhitungan.
- Prosedur *exit* untuk keluar dari program.

2. Fungsi report

Fungsi ini memberikan laporan *output* penjadwalan pemakaian listrik waktu beban puncak, yang terdiri dari report biaya waktu beban puncak, biaya listrik penalti, biaya listrik keseluruhan, dan report *troubleshooting*.

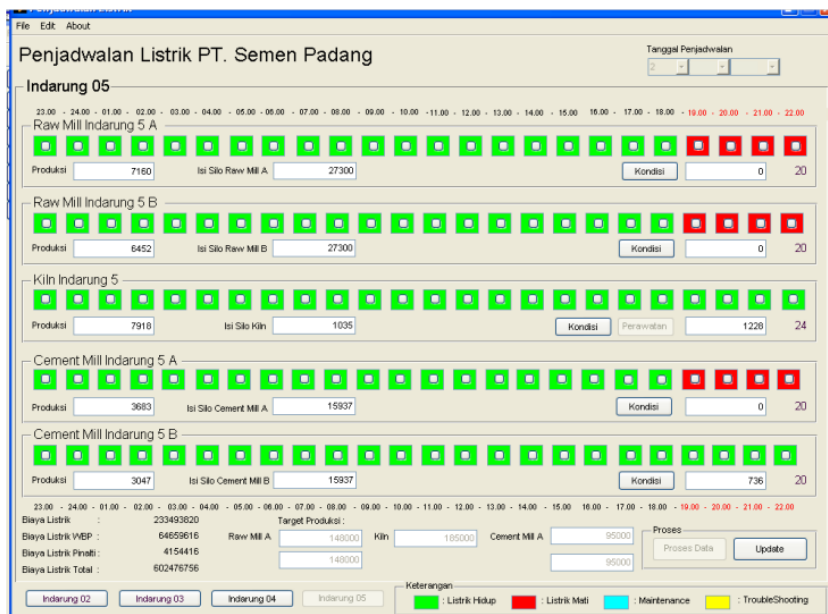
Tahap-tahap utama penggunaan program dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Langkah kerja pertama dalam program yaitu menetapkan tanggal mulai penjadwalan pemakaian listrik WBP, dengan

tanggal, bulan dan tahun penjadwalan menyesuaikan kondisi aktual.

- Masukkan target produksi bulanan *Raw Mill*, *Kiln* dan *Cement Mill* pada program. Target produksi bulanan akan diubah menjadi rencana harian melalui perhitungan komputer. Apabila produksi hari ini kurang dari rencana harian, maka kekurangannya akan dibebankan pada hari berikutnya secara kumulatif selama hari yang tersisa untuk memenuhi target bulanan.
- Tentukan kondisi hidup (1) atau mati (0) *Raw Mill* dan *Cement Mill* dari jam ke-1 sampai jam ke-20 (jam luar WBP) berdasarkan kondisi nyata, dengan memberi warna merah untuk kondisi listrik mati, hijau kondisi listrik hidup, kuning kondisi *troubleshooting*, dan biru untuk kondisi perawatan. Pada kondisi *trouble shooting* dapat disimpan *troubleshooting* apa yang terjadi pada jam tersebut, sebagai arsip perusahaan. Kondisi hidup atau mati harus diisi penuh sampai jam ke-20, untuk *Raw Mill*, *Kiln* dan *Cement Mill*.
- Setelah kondisi hidup atau mati diisi sampai jam ke-20, masukkan produksi dan isi silo sampai sesaat waktu beban puncak, yang diperoleh dari kondisi aktual.
- Tekan tombol *update* untuk mendapatkan rencana jadwal hidup (1) atau mati (0) untuk *Raw Mill* dan *Cement Mill* WBP. Warna merah yang diperoleh dari hasil penjadwalan menandakan jadwal untuk mematikan *mill* WBP dan warna hijau menandakan jadwal untuk tetap mengoperasikan *mill* WBP tersebut. Bersamaan dengan jadwal akan muncul jam operasi dari *Mill* secara kumulatif untuk menentukan jadwal perawatan.
- Biaya listrik akan keluar bersamaan dengan jadwal hidup atau mati *Raw Mill* dan *Cement Mill* WBP yang perhitungannya dilakukan secara terkomputerisasi. Biaya listrik yang dihitung oleh program adalah biaya listrik WBP, biaya penalti listrik dan biaya listrik keseluruhan.

Bentuk tampilan program penjadwalan pemakaian listrik WBP seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Program Penjadwalan Pemakaian Listrik pada WBP

Pada tampilan program, terdapat jam jalan operasi yang ditampilkan dalam bentuk button dengan beberapa keterangan warna dari operasi. Keterangan dari warna hijau menandakan listrik hidup baik untuk operasi maupun *standby*. Warna merah menandakan listrik mati atau mesin tidak beroperasi. Warna biru menandakan jadwal perawatan yang ditetapkan sesuai dengan kebijakan perusahaan. Warna kuning menandakan terjadinya kondisi *troubleshooting*.

Verifikasi dan Validasi Program Penjadwalan Pemakaian Listrik pada WBP

Verifikasi program penjadwalan pemakaian listrik pada WBP telah dilakukan bersama pihak PTP PT Semen Padang. Program yang dirancang telah sesuai dengan harapan pengguna. Pada penelitian ini, validasi program dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan yang dilakukan secara manual dari model yang telah dirancang dengan hasil perhitungan secara terkomputerisasi dengan program. Hasil perhitungan program sama dengan hasil perhitungan manual, maka program yang dibuat dapat dikatakan valid.

Kontribusi Solusi Model

Berdasarkan perhitungan, dapat diketahui bahwa biaya penalti listrik pada WBP di PT Semen Padang untuk bulan tertentu berdasarkan model, diperoleh sebesar Rp 1.788.176.992. Berdasarkan perhitungan dari kondisi nyata, diperoleh biaya penalti listrik pada WBP sebesar Rp 3.068.110.990. Terdapat selisih biaya penalti listrik kondisi aktual sebesar Rp 1.279.933.998 dibandingkan hasil perhitungan dari model. Berdasarkan hasil ini, maka perlu dilakukan penjadwalan pemakaian listrik pada WBP berdasarkan model yang dirancang.

KESIMPULAN

Penelitian mengenai model *zero-one linear programming* untuk penjadwalan hidup-mati *Raw Mill* dan *Cement Mill* pada waktu beban puncak di PT Semen Padang ini memberikan kesimpulan bahwa model penjadwalan hidup (1) atau mati (0) dari *Raw Mill* dan *Cement Mill* Indarung II sampai Indarung V dengan menggunakan pendekatan *zero-one linear programming* mampu meminimasi biaya penalti energi listrik pada waktu baban puncak. Selain itu, program aplikasi yang dirancang dengan menggunakan *software* Matlab®, mampu menghasilkan jadwal hidup-mati *Raw Mill* dan *Cement Mill* pada waktu beban puncak. Beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya, yaitu: (1) Dalam masalah perhitungan biaya penalti listrik pada pabrik PT Semen Padang, perlu dipertimbangkan penambahan perhitungan biaya penalti untuk pemakaian daya (kVA) yang melebihi ketentuan PLN waktu beban puncak, dengan menambahkan variabel dan memperbesar model yang telah dibangun dari harian menjadi bulanan; (2) Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperhitungkan kondisi *setup*, laju pengisian dan laju pengosongan silo *raw mix*, *klinker* dan semen. Kondisi laju pengisian dari kondisi mati akan mengalami kenaikan bertahap waktu dihidupkan, sampai ke kondisi normal dari laju pengisian atau pengosongan silo. Demikian juga waktu akan dimatikan akan mengalami kondisi penurunan secara bertahap; (3) Perlunya diperhitungkan pemakaian energi listrik waktu kondisi *standby*, karena apabila

Raw Mill, *Kiln* atau *Cement Mill* mati, masih ada motor yang jalan *standby*, sampai alat kembali jalan berproduksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Nasir, "Metode Penghematan Energi Listrik dengan Pola Pengaturan Pembebanan". *Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR*, Pekanbaru, 29-30 Juni 2010, pp.1-13.
- [2] M. H. Amini, J. Frye, M. D. Llić, O. Karabasoglu. "Smart Residential Energy Scheduling Utilizing Two Stage Mixed Integer Linear Programming". *North American Power Symposium (NAPS)*, Charlotte, NC, USA, 4-6 October 2015, pp.1-6.
- [3] A. Lamghari, R. Dimitrakopoulos, J. A. Ferland. A Hybrid Method Based on Linear Programming and Variable Neighborhood Descent for Scheduling Production in Open-pit Mines. *Journal of Global Optimization*, Volume 63, No 3, pp.555-582, 2014.
- [4] D.W. Fogarty, J. H. Blackstone Jr, T. R. Hoffmann. *Production and Inventory Management*, 2nd Edition. Cincinnati: South Western Publishing Co., 1991.
- [5] D. D. Bedworth and J. E. Bailey. *Integrated Production Control System: Management, Analysis, Design*, 2nd Edition. New York: John Wiley and Sons, 1987.
- [6] H. Suwa and H. Sandoh. *Online Scheduling in Manufacturing*. London: Springer-Verlag, 2013.
- [7] W. J. Stevenson. *Operations Management*, 12th Edition. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [8] A. R. Ravindran. *Operations Research*. Singapore: John Wiley, 1987.
- [9] T. D. Tjutju and D. Ahmad. *Operations Research : Model-Model Pengambilan Keputusan*. Bandung: Sinar Baru Algesindo, 1994.
- [10] M. S. Bazaara, J. J. Jarvis, H. D. Sherali. *Linear Programming and Network Flows*, 4th Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [11] K. Genova and V. Guliashki. "Linear Integer Programming Methods and Approaches – A Survey". *Cybernetics and Information Technologies*, Volume 11, No 1, pp.3-25, 2011.
- [12] H. Triha, A. S. Indrapriyatna, J. Jonrinaldi. "Algoritma Penentuan Ukuran Batch Integer pada Penjadwalan Flowshop Satu Mesin". *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Volume 15, No 1, pp.1-15, 2016.
- [13] E. Wirdianto, D. Regenie, W. Wisnel. "Aplikasi Algoritma Hybrid dalam Penentuan Rute Pendistribusian Produk (Studi Kasus: PT Enseval Putera Megatrading)". *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Volume 15, No 2, pp.171-180, 2016.
- [14] G. H. G. Fonseca, H. G. Santos, E. G. Carrano. "Integer Programming Techniques for Educational Timetabling". *European Journal of Operational Research*, Volume 262, pp.28-39, 2017.
- [15] D. S. Chen, R. G. Batson, Y. Dang. *Applied Integer Programming - Modelling and Solution*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [16] F. S. Hillier and G. J. Lieberman. *Introduction to Operation Research*, 10th Edition. New York: McGraw-Hill Inc, 2015.
- [17] T. M. Simatupang. *Pemodelan Sistem*. Klaten: Penerbit Nindita, 1995.

- [18] R.E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers, K. Ye. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, 9th Edition. Boston: Pearson Education, 2012.

NOMENKLATUR

Z	Fungsi tujuan	$i = 8$	(Cement Mill Indarung III)
x_j	Variabel keputusan	$i = 9$	(Cement Mill Indarung IVA)
c_j	Koefisien biaya	$i = 10$	(Cement Mill Indarung IVB)
b_i	Batasan sumber daya	$i = 11$	(Cement Mill Indarung VA)
a_{ij}	Nilai koefisien kendala	$i = 12$	(Cement Mill Indarung VB)
x_{ij}	Status hidup (1) atau mati (0) untuk mesin ke- i pada jam ke- j pada WBP	$i = 13$	(Kiln Indarung II)
i	Mesin ke- i , dalam hal ini <i>Raw Mill</i> , <i>Kiln</i> dan <i>Cement Mill</i>	$i = 14$	(Kiln Indarung III)
	$i = 1$ (<i>Raw Mill</i> Indarung II)	$i = 15$	(Kiln Indarung IV)
	$i = 2$ (<i>Raw Mill</i> Indarung III)	$i = 16$	(Kiln Indarung V)
	$i = 3$ (<i>Raw Mill</i> Indarung IVA)	j	Jam ke- j
	$i = 4$ (<i>Raw Mill</i> Indarung IVB)	BP	Besar biaya penalti kWh listrik waktu beban puncak
	$i = 5$ (<i>Raw Mill</i> Indarung VA)	d_i	Besarnya kWh yang digunakan mesin ke- i .
	$i = 6$ (<i>Raw Mill</i> Indarung VB)	y_{ij}	Status hidup (1) atau mati (0) untuk mesin ke- i pada jam ke- j di luar WBP
	$i = 7$ (<i>Cement Mill</i> Indarung II)	A_i	Produksi mesin ke- i sampai sesaat WBP dimulai
		P_i	Jam jalan kumulatif mesin ke- i sesaat sebelum WBP sejak perawatan terakhir untuk <i>Raw Mill</i> , <i>Kiln</i> atau <i>Cement Mill</i>
		v_i	Laju pengisian silo pada mesin ke- i
		F_k	Batas maksimum isi silo ke- k
		E_k	Batas minimal isi silo ke- k
		B_k	Isi silo ke- k sampai sesaat WBP dimulai
		L_k	Laju pengosongan silo ke- k per jam