

Analysis Application of Integrated Variable Frequency Drive With Radar Sensor for Silo Optimization to Reduce Electricity Consumption Ratio

Analisa Penerapan Variable Frequency Drive Terintegrasi Dengan Sensor Radar Untuk Optimalisasi Silo Guna Menurunkan Rasio Konsumsi Listrik

Khusnul Maulana Ibrahim^{1*}, Hasanuddin¹, Aris Sumarwanto²

Abstract

PT ISM Tbk Bogasari Flour Mills Surabaya is a company that processes wheat into flour and by-products. There is an achievement of the Key Result Area (KRA) work target that has not been achieved, namely the problem of the ratio of electricity consumption. From the work target set at 18 kwh/ton, the achievement of the electricity ratio is still 19.09 kwh/ton. From October-December 2020 there was a waste of Rp. 51,166,851. The purpose of this research is to reduce the ratio of electricity consumption to 18 kWh/ton. The settlement method used is a quality control circle with a method of 8 steps and 7 tools. The improvement implemented is the application of an integrated variable frequency drive with a radar sensor to determine the product contents in the silo which is controlled via PLC. The results of the target evaluation show a decrease in the ratio of electricity consumption from 19.09 kwh/ton to 17.19 kwh/ton with a cost savings of Rp. 418,245,746/year.

Keywords

Electrical efficiency, power ratio, pellet, variable frequency drive.

Abstrak

PT ISM Tbk Bogasari Flour Mills Surabaya merupakan perusahaan yang mengolah gandum menjadi tepung terigu serta produk sampingan. Terdapat pencapaian target kerja *Key Result Area (KRA)* yang tidak tercapai yaitu masalah rasio konsumsi listrik. Dari target kerja yang ditetapkan sebesar 18 kwh/ton, pencapaian rasio listrik masih sebesar 19,09 kwh/ton. Selama Oktober-Desember 2020 terjadi pemborosan sebesar Rp 51.166.851. Tujuan dari penelitian ini adalah menurunkan rasio konsumsi listrik hingga 18 kwh/ton. Metode penyelesaian yang digunakan yaitu *quality control circle* dengan metode 8 langkah dan 7 *tools*. *Improvement* yang diimplementasikan adalah penerapan *variable frequency drive* terintegrasi sensor radar untuk mengetahui isi *product* di dalam silo yang dikontrol melalui PLC. Hasil evaluasi target menunjukkan penurunan rasio konsumsi listrik dari 19,09 kwh/ton menjadi 17,19 kwh/ton dengan penghematan biaya sebesar Rp. 418.245.746/tahun.

Kata Kunci

Efisiensi listrik, rasio listrik, pellet, *variable frequency drive*.

¹ PT ISM Tbk Bogasari Flour Mills Surabaya
Jalan Nilam Timur No 16, Perak Utara, Surabaya, Jawa Timur

* khusnulmaulanaa@gmail.com

Submitted : July 21, 2022. Accepted : August 15, 2022. Published : August 17, 2022.

PENDAHULUAN

PT Indofood Sukses Makmur Tbk Bogasari Flour Mills bagian dari Indofood group merupakan perusahaan yang mengolah gandum menjadi tepung terigu serta *by product* nya (produk sampingan). Pabrik Surabaya berlokasi di Jalan Nilam Timur No 16, Tanjung Perak, Surabaya. *By product* yang berupa bran dan pollard gandum akan diolah menjadi pellet pakan ternak melalui proses pengepresan yang dicampur dengan *steam* dari boiler menggunakan mesin *pellet mills*. Proses pembuatan pellet terdiri dari beberapa proses yaitu pengepresan, pendinginan, pemisahan ukuran, pemisahan logam, dan transfer ke silo pellet.

Industri memiliki kewajiban dalam hal efisiensi penghematan konsumsi energi listrik, hal ini karena berkaitan dengan program pemerintah dalam pengurangan beban pembangkit listrik serta dampak iklim terhadap lingkungan yang diakibatkan [1]. PT ISM Tbk Bogasari Flour Mills Surabaya sebagai perusahaan yang memegang ISO 50001 dan ISO 14001 turut andil dalam penghematan energi. Di Seksi Pelletizing, terdapat pencapaian target kerja dalam *Key Result Area (KRA)/Quality Objective* yang tidak tercapai yaitu masalah rasio konsumsi listrik. Dimana rasio konsumsi listrik adalah jumlah energi listrik yang dipakai dibagi dengan jumlah produksi pellet yang diperoleh [2]. Target rasio konsumsi listrik yang ditetapkan management yaitu sebesar 18 kwh/ton, namun pada hasil laporan produksi bulan Oktober 2020 pencapaian rasio konsumsi listrik sebesar 18,72 kwh/ton, November 2020 pencapaian sebesar 19,51 kwh/ton, dan Desember 2020 pencapaian sebesar 19,01 kwh/ton. Selama 3 bulan tersebut terdapat pemborosan sebesar Rp 51.166.851 dari target kerja yang ditetapkan (data dari accounting dan tim energi dengan biaya listrik sebesar 996,74 per kwh). Hal tersebut juga berdampak ke CO₂ terhadap lingkungan yang besar yaitu 769,632 kg/ton dari 3 bulan tersebut (CO₂ Factor = 0.857 Kg CO₂/KWH, 0.0019563 ton CO₂/M³ CNG).

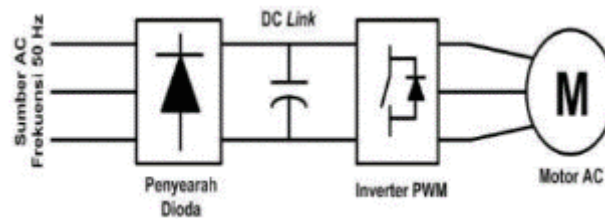
Hal tersebut menjadi problem yang harus segera diatasi, karena berdasarkan historical data pernah mendapatkan rasio konsumsi listrik di angka 18 kwh/ton pellet. Salah satu upaya sebelumnya untuk rasio konsumsi listrik rendah yaitu dengan optimalisasi dalam raw material, namun seiring berjalannya waktu raw material tersebut fluktuatif mengikuti jenis gandum yang dipakai sebagai bahan baku tepung terigu. Selanjutnya akan dilakukan analisa melalui *Quality Control Circle (QCC)* menggunakan metode 8 langkah & 7 *tolls* dalam proses produksi pellet untuk mengetahui akar penyebab masalah rasio konsumsi listrik tinggi. Data yang digunakan dalam analisa menggunakan kondisi aktual laporan harian dalam proses produksi, tahapan *Plan* dimulai bulan Oktober 2022-Februari 2021, tahapan *Do* bulan Maret-Mei 2021, tahapan *Check* bulan Juni-Agustus 2021, dan tahapan *Action* bulan September-Oktober 2021.

Tujuan dari penelitian ini yaitu menurunkan rasio konsumsi listrik dalam proses produksi pellet dengan target 18 kwh/ton sesuai yang ditetapkan management. Penghematan ini juga sebagai komitmen dalam penerapan ISO 50001, yang akan berdampak positif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak lingkungan serta biaya energi lainnya melalui pengelolaan energi secara sistematis. Upaya penurunan rasio konsumsi listrik yaitu dengan penerapan *automatic variable frequency drive* terintegrasi dengan radar sensor yang dikontrol melalui PLC. Penelitian dan *improvement* ini penting untuk efisiensi rasio konsumsi listrik dalam produksi pellet, pemenuhan *performance energy* dalam ISO 50001 serta ISO 14001.

Variable Frequency Drive (VFD)

Variabel Frequency Drive (VFD) adalah suatu sistem untuk mengendalikan kecepatan rotasi motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan mengendalikan frekuensi listrik yang diberikan ke motor [3]. Pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang diinginkan atau sesuai dengan kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih

kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur. Rangkaian pengendali VFD bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian pengendali *variable frequency drive*

Frekuensi diubah dengan membedakan waktu hidup mati saklar. Umpamanya durasi dalam satu siklus satu detik, maka frekuensinya (f) adalah :

$$f = 1 / t_0 \text{ (Hz)} \quad (1)$$

Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi adalah mesin listrik yang beroperasi dengan menggunakan prinsip induksi dimana medan elektromagnetik diinduksi kedalam rotor ketika medan magnet berputar [4]. Disebut motor induksi disebabkan bahwa arus yang mengalir pada rotor bukan diperoleh dari suatu sumber tertentu melainkan harus yang terinduksi akibat adanya perbedaan relatif antara putaran poros rotor dengan medan putar yang terjadi pada stator. Medan putar inilah yang menjadi prinsip dasar dari motor induksi 3 fasa. Motor induksi tiga fasa berputar pada kecepatan yang pada dasarnya adalah konstan, mulai dari tidak berbeban sampai mencapai keadaan beban penuh. Kecepatan putaran motor ini dipengaruhi oleh frekuensi. Bila motor induksi bekerja pada sistem 3 fasa, besar arus dan juga *fluksi* pada kutub di masing-masing fasa selalu berubah sesuai dengan fungsi waktu. *Fluksi-fluksi* pada masing-masing kutub selalu menghasilkan *fluksi* total (*resultant*), yang bergerak mengelilingi stator dengan arah radial. *Fluksi* yang berputar tersebut disebut medan putar, kecepatan putarnya disebut putaran sinkron. Prinsip kerja motor induksi 3 fasa adalah sebagai berikut :

1. Bila sumber tegangan 3 fasa dihubungkan pada kumparan stator, maka akan timbul fluksi resultant yang sama besar dan berputar dengan kecepatan sebesar :

$$n_s = \frac{120 \cdot f_1}{P} \quad (2)$$

Dimana : n_s = kecepatan serempak (sinkron) (rpm)

f_1 = frekuensi stator (jala jala) (Hz)

P = jumlah kutub

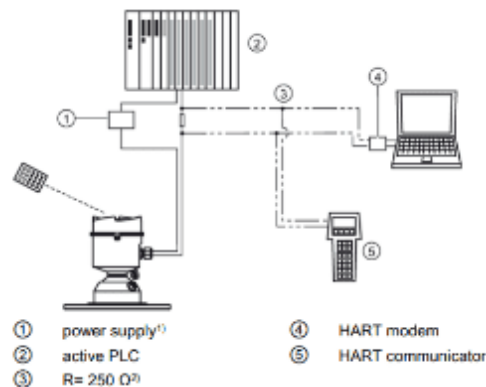
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor.
3. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka ggl (E) akan menghasilkan arus induksi (I).
4. Adanya arus (I) di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor.
5. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
6. Tegangan induksi timbul akibat terpotongnya batang konduktor rotor oleh medan putar stator, tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan putaran rotor (n_r).
7. Perbedaan kecepatan medan stator (n_s) dan kecepatan putaran rotor (n_r) di sebut slip, dinyatakan dengan :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (3)$$

8. Bila $n_s = n_{rs}$, berarti tegangan tidak terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan rotor, dengan demikian tidak menghasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila $n_s < n_r$.

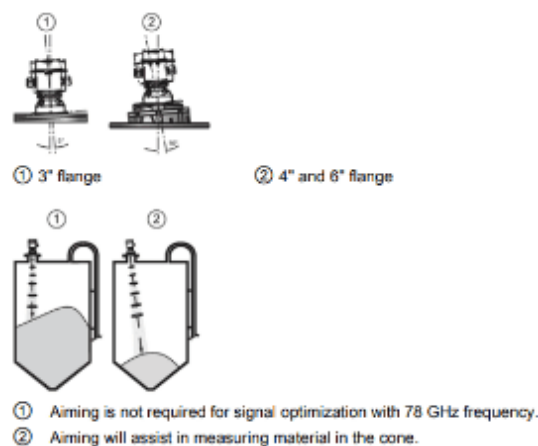
Sensor radar SITRANS LR560

SITRANS LR560 adalah pemancar level radar 2-kawat 78 GHz FMCW untuk pemantauan terus menerus padatan dalam silo hingga jarak 100 m (328 kaki) [5]. Kinerja *plug and play* SITRANS LR560 sangat ideal untuk sebagian besar aplikasi padatan, termasuk yang memiliki debu ekstrem dan suhu tinggi hingga +200 C (+392 F). Desain SITRANS LR560 memungkinkan pemrograman yang aman dan sederhana menggunakan *programmer* genggam secara intrinsik tanpa harus membuka tutup instrumen. LR560 menyertakan antar muka tampilan lokal grafis (LDI) opsional yang meningkatkan pengaturan dan pengoperasian menggunakan *Quick Start Wizard* yang intuitif, dan tampilan profil gema untuk dukungan diagnostik. Untuk interkoneksi ke program PLC yang dimonitoring melalui SCADA dapat dilihat melalui blok diagram pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram PLC configuration with HART

Kemudahan dalam pengaturan penetapan sudut kemiringan sensor dapat diputar melalui *flange* yang ada di *support* sensor, penjelasan visualnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penentuan titik penyesuaian sudut

Silo

Silo adalah struktur yang digunakan untuk menyimpan bahan curah (bulk materials) [6]. Terdapat 2 tipe silo, yaitu persegi dan silinder. Di seksi Pelletizing PT ISM Bogasari Flour Mills Surabaya silo yang digunakan untuk penyimpanan *wheat brand pollar* adalah tipe persegi dengan bahan beton yang terdapat plat *stainless* di dalamnya. Untuk sudut kemiringan *cone*

bottom silo menyesuaikan *bulk density wheat brand pollard*. Perhitungan densitas untuk mengetahui kapasitas silo *wheat bran pollard* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan kapasitas silo dari densitas *wheat bran pollard*

Data Product		Kapasitas silo		Dimensi Silo		Kap. Isi Silo	
Densitas product	0,23 kg/lt	P*L*T	10*2,5*5	Kedalaman	10 m	Densitas * Kapasitas	230*125
	230 kg/m ³		125 m ³	Panjang	5 m		28.750 m ³
				Lebar	3 m		2.875 ton

Screw Conveyor

Mesin *screw conveyor* adalah mesin yang berotasi secara spiral yang dapat digunakan untuk memindahkan berbagai macam jenis material sekaligus untuk melakukan pencampuran bahan [7]. Perhitungan *conveying speed* dapat menggunakan rumus :

$$v = s * n \quad (4)$$

dimana : v = kecepatan (m/s)

s = *screw pitch* (meter)

n = *screw speed* (rpm)

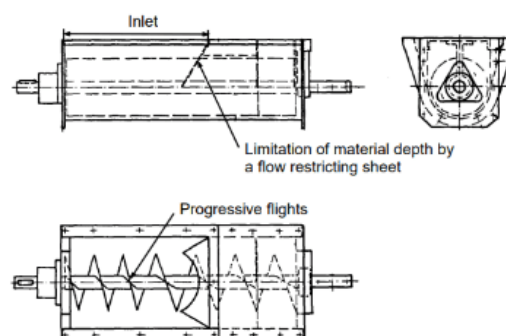
Desain lebar pitch screw conveyor juga memperhatikan *bulk density* dari *product* yang dibawa, untuk tabel nilai perkiraan untuk tingkat pengisian dan faktor pembawa dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Approximate values for filling degree and conveying factors

Product	Bulk density ρ (t/m ³)	Filling degree φ (-)	Conveying factor λ (-)
Wheat	0,75 - 0,8	0,4 - 0,45	1,9
Rye	0,65 - 0,75	0,4 - 0,45	1,9
Corn (maize)	0,7 - 0,8	0,4 - 0,45	1,9
Barley	0,55 - 0,65	0,4 - 0,45	1,9
Wheat flour	0,45 - 0,5	0,4 - 0,45	2,2
Wheat bran	0,2 - 0,25	0,35 - 0,4	2,2

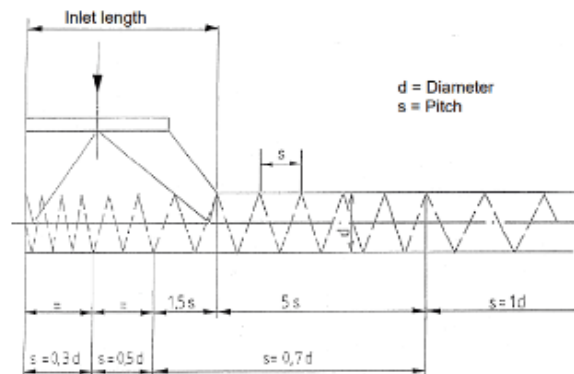
Sumber : Robert Soltermann, Mechanical Conveying, Swiss: SMS, 2010. [8]

Jenis konveyor sekrup atau biasa lebih dikenal *screw progressive* merupakan solusi yang lebih ekonomis dari pada sekrup tubular yang lebih umum digunakan. Itu dapat diumpamakan dari permukaan yang lebih besar disaluran masuk dan dimungkinkan untuk memasangnya langsung di bawah lubang pelepasan. Palung sering dilengkapi dengan dinding samping miring (*V-trough*). Kecepatannya lebih tinggi dari pada konveyor ulir palung biasa. Untuk visualisasi *screw tipe progressive* ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Progressive flights screw conveyor

Sekrup memiliki *pitch progressive* di bagian saluran masuk, yaitu *pitch* penerbangan tidak konstan. Sepertiga pertama kira-kira $0,3*d$, sepertiga kedua $0,5*d$, sepertiga terakhir $0,7*d$ (nada penuh di bagian konveyor : $s = d$). Perhitungan tersebut akan mempengaruhi debit yang relatif seragam di sepanjang panjang debit, membatasi persentase pemuatan di bagian konveyor untuk mencegah pengepakan bahan tambahan. Tipe *progressive* mampu mengalirkan/mendorong produk lebih banyak dengan beban motor yang sama, serta mampu mencegah terjadinya *stacking product* di dalam silo karena aliran produk merata. Pembagian zona dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Screw progressive dibagi menjadi 3 zona dengan lebar pitch yang berbeda-beda

Rasio listrik

Rasio listrik yang dimaksud dalam *Key Result Area (KRA)* pada produksi pellet di Seksi Pelletizing PT ISM Tbk Bogasari Flour Mills Surabaya adalah jumlah konsumsi daya listrik yang dipakai dibagi jumlah produksi yang diperoleh. Sehingga faktor pembagi dalam hal ini jumlah produksi harus besar dan konsumsi daya listrik harus kecil untuk mendapatkan nilai rasio yang rendah.

$$\text{Rasio listrik} = \frac{\text{Jumlah konsumsi daya listrik (KWH)}}{\text{Jumlah hasil produksi pellet (Ton)}} \quad (5)$$

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu melakukan studi literatur, pengumpulan data, metode 8 langkah & 7 tools, dan pengambilan data secara langsung serta analisis hasil.

Studi literatur

Studi literatur diperlukan untuk mengkaji sejumlah teori dasar yang relevan dengan masalah yang akan diteliti, mengkaji hasil riset terdahulu yang ada kaitannya dengan penelitian yang akan dilakukan. Literatur yang digunakan yaitu jurnal ilmiah, skripsi/tesis/disertasi, buku, makalah mutu QCC, dan hasil diskusi.

Pengumpulan data

Data diambil dari laporan bulanan 3 bulan terakhir pada tahun 2020, berupa data besar daya konsumsi listrik, target listrik dari management energi, serta hasil produksi. Detail data dapat dilihat pada Tabel 3.

Metode 8 langkah & 7 tools

PT ISM Bogasari Flour Mills Surabaya memiliki suatu tim KKM (Kelompok Kerja Mutu) / QCC (Quality Control Circle). KKM/QCC merupakan suatu *team work* yang dibentuk untuk membentuk pola pikir dan karakter pekerja dalam pengendalian kualitas dan peningkatan kualitas produk, kualitas mesin penunjang produksi, dan kualitas skill pekerja dalam hal

menyelesaikan masalah yang terjadi di lapangan [9]. Dimana dalam analisa dan *improvement* melalui siklus PDCA (*Plan, Do, Check, Action*). Dengan bantuan 7 *tools* yaitu *check sheet*, diagram pareto, *fishbone*, diagram relasi, diagram *scatter*, histogram, dan *control chart*. Serta metode 8 langkah yaitu tema, target, analisa kondisi yang ada, analisa sebab akibat, analisa penanggulangan, penanggulangan, evaluasi hasil, standarisasi dan tindak lanjut.

Tabel 3. Laporan hasil produksi (Okt-Des 2020).

Bulan	Produksi Pellet (Ton)	Listrik			
		Konsumsi Listrik (Kwh)			
		Aktual	Target	Selisih	Boros (Rp)
Okt'20	12.291	230.064	221.238	8.892	8.779.227
Nov'20	15.099	294.521	271.782	22.739	22.665.070
Des'20	19.650	373.469	253.700	19.769	19.704.553
Total	47.040	898.054	846.720	51.334	5.166.851
Catatan		Biaya listrik : Rp 996,74 per kwh, Target : 18 kwh/ton			

Pengambilan data dan analisis hasil

Pengambilan data dilakukan secara langsung melalui KWH meter yang terpasang di panel untuk konsumsi daya listrik, sedangkan jumlah produksi melalui timbangan produksi *load cell*. Semuanya sudah tercatat dalam monitoring melalui SCADA. Dari data yang ada akan terakumulasi dalam laporan produksi Seksi Pelletizing, dari data tersebut akan dilakukan analisa secara matematis dan terdata guna mengetahui efisiensi yang signifikan dalam menurunkan rasio konsumsi listrik produksi pellet.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi masalah

Berikut pada tabel 4 merupakan hasil pencapaian *quality objective* pada *Key Result Area*.

Tabel 4. Pencapaian *quality objective* Okt-Des'20.

Quality Objective	Target	Pencapaian				Ket.
		Okt'20	Nop'20	Des'20	Okt-Des'20	
Steam consumption per ton pellet production	Max 38 kg/ton	35,16	35,20	35,15	35,17	✓
Hit of moisture content pellet	Min 99 %	100	100	100	100	✓
Hit of hardness pellet	Min 99 %	100	100	100	100	✓
Running capacity compared to design	Min 80 %	90	90	95	91,67	✓
Power consumption per ton pellet production	Max 18 kwh/ton	18,72	19,51	19,01	19,09	✗

Ada target kerja yang tidak tercapai, yaitu *power consumption per ton pellet production* atau rasio konsumsi listrik. Selanjutnya akan dianalisa pemborosan listrik terhadap masing-masing proses produksi pellet.

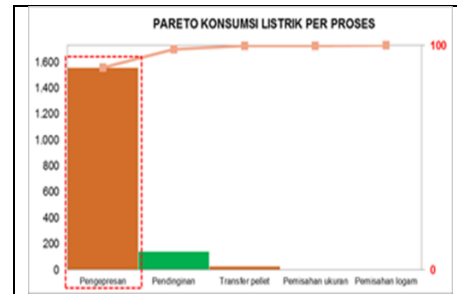
Tabel 5. Checksheet pemborosan listrik Okt-Des'20.

Bulan	Produksi Pellet (ton)	Konsumsi listrik (kwh)			
		Aktual	Target	Selisih	Boros (Rp)
Okt'20	12.291	230.064	221.238	8.826	8.797.227
Nov'20	15.099	294.521	271.782	22.739	22.665.070
Des'20	19.650	373.469	352.469	19.769	19.704.553
Total	47.040	898.054	898.054	51.334	51.166.851
Catatan :		Biaya listrik Rp 996,74 per kwh			

Dari *checksheets* pemborosan listrik Okt-Des'20 terjadi pemborosan sebesar 51.334 kwh (Rp. 51.166.851) per tiga bulan, selanjutnya akan di analisa seberapa besar konsumsi listrik pada setiap proses di Seksi Pelletizing dalam proses produksi pellet pakan ternak.

Tabel 6. Stratifikasi besarnya KW pada masing-masing proses dan diagram pareto.

Proses	Listrik (kw)	%	% Kumulatif
Pengepresan	1556,15	90,05	90,05
Pendinginan	142,45	8,24	98,29
Transfer pellet	26,00	1,50	99,79
Pemisahan ukuran	3,00	0,17	99,97
Pemisahan logam	0,55	0,03	100
Total	1728	100	

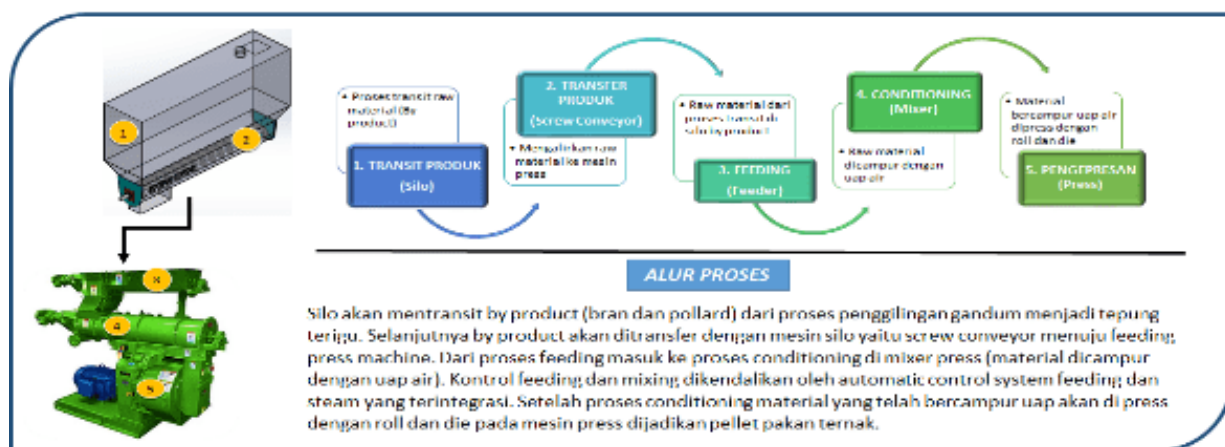
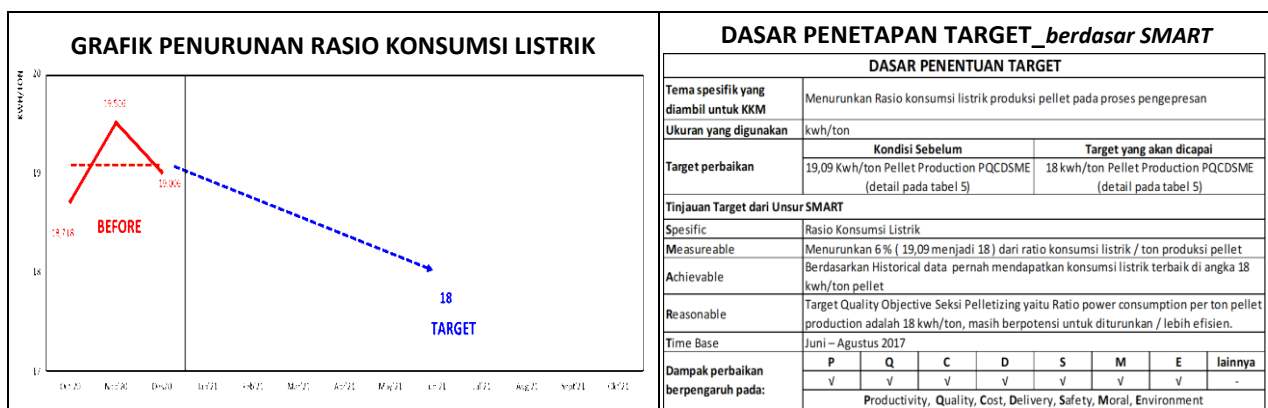


Dari pareto terlihat konsumsi listrik paling besar dalam proses produksi pellet terjadi pada proses pengepresan, sehingga analisa perbaikan akan berfokus pada penghematan dalam proses pengepresan.

Penetapan target

Taget penurunan rasio konsumsi listrik terdapat pada Tabel 7

Tabel 7. Target penurunan rasio konsumsi listrik.



Gambar 6. Alur proses produksi pellet di PT ISM Bogasari Flour Mills Surabaya

Analisa kondisi yang ada

Efisiensi dengan pemasangan VFD dilakukan pada motor di *screw extractor* silo transit bran pollard. Gambaran dan alur proses dapat dilihat pada gambar 6. Terdapat 4 buah silo transit bran pollard, sehingga ada 4 buah motor penggerak yang digunakan dalam *screw conveyor* untuk *transfer* ke jalur berikutnya. Spesifikasi motor dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Spesifikasi motor mesin output silo (*extractor*) pada nameplate

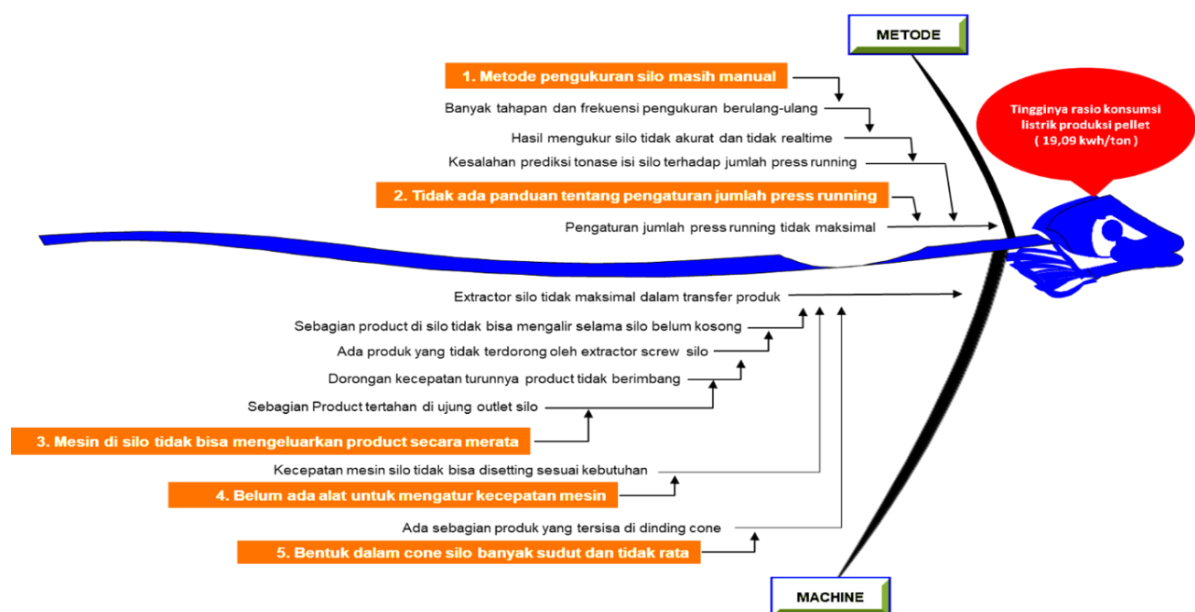
Alamat motor	Tegangan (V)	Arus Max (I)	Cos ϕ	Kecepatan (rpm)	Daya motor
EXT 23K	380	16 A	0,87	1440	5,5 KW
EXT 24K	380	17 A	0,85	1420	5,5 KW
EXT 25K	380	16 A	0,87	1450	5,5 KW
EXT 26K	380	16,8 A	0,86	1440	5,5 KW

Tabel 9. Potensi penyebab langsung konsumsi listrik boros pada proses pengepresan

Item	Standart	Metode check	Aktual	Frek	%	Ket
Pen pengaman press putus	2 pcs Tidak putus	Observasi di lapangan 7 jam x 6 hari (42 jam)	2 pcs Tidak putus	0	100	Ok
Lubang Die buntu	5936 lubang tidak buntu	Observasi di lapangan 18 dan 23 jan'21	5936 lubang tidak buntu	0	100	Ok
<i>Screw extractor silo tidak maksimal dalam transfer produk</i>	<i>30 ton/jam</i>	<i>Observasi di lapangan 25 - 29 Jan'21 7 jam x 6 hari (42 jam)</i>	<i>< 30 ton/jam 3 jam x 6 hari (18 jam)</i>	<i>18</i>	<i>42</i>	<i>Problem</i>
Temperature kabel di panel tinggi	Max 30°C	Observasi di lapangan 2 x 6 hari (12 kali)	< 30°C	0	100	Ok

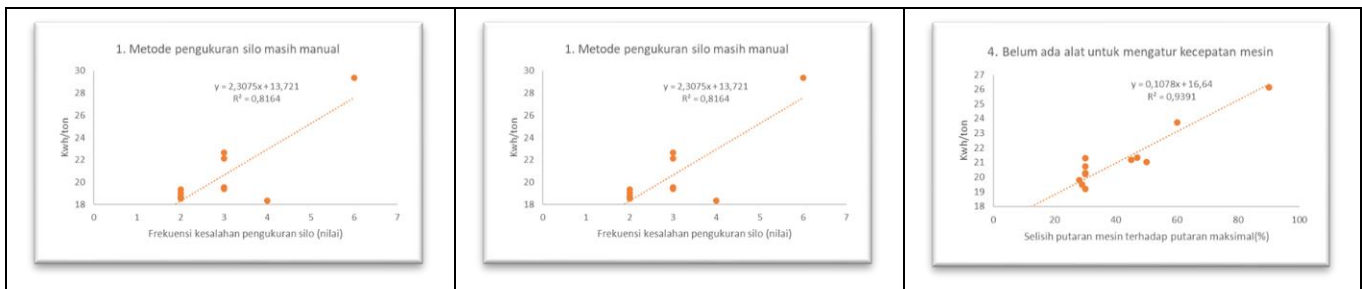
Analisa sebab akibat

Dari analisa kondisi yang ada di lapangan, dilakukan analisa potensi penyebab langsung rasio konsumsi listrik tinggi dalam proses pengepresan, potensi tersebut dapat dilihat dalam tabel 9. Selanjutnya dari penyebab langsung akan dicari akar penyebab dengan fishbone diagram pada gambar 7.



Gambar 7. Pencarian akar penyebab masalah menggunakan fishbone diagram

Tabel 10. Analisa korelasi akar penyebab langsung dengan scatter diagram



Dari analisa menggunakan *scatter* diagram, semuanya menunjukkan korelasi yang kuat terhadap masalah (sumber Guilford, J.P. 1956. *Fundamental statistic in pscology and education* P.145 yang menyebutkan korelasi kuat jika min $R^2 = 0,8$)

Rencana perbaikan

Tabel 11. Analisa potensi perbaikan terhadap akar penyebab

Akar penyebab	Potensi Perbaikan	Alternatif solusi
Metode pengukuran silo masih manual	Optimalisasi metode pengukuran silo	Metode SCAMPER Questions
Mesin di silo tidak bisa mengeluarkan product secara merata	Optimalisasi mesin transfer silo	
Belum ada alat untuk mengatur kecepatan silo	Optimalisasi kecepatan mesin silo	

Tabel 12. Pemilihan alternatif design perbaikan

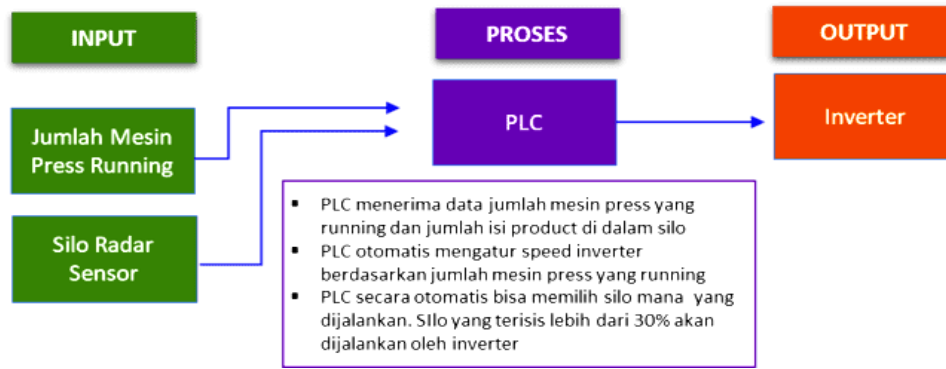
Solusi terpilih	Akar penyebab	High Impact			Easy to Fix			Total score
		Fin. benefit	Cost. satisfaction	Improve efficieny	Prob. of success	Project simplicity	Cost of implem	
Ganti metode pengukuran silo	Sensor radar transmiter SITRANS LR560	10	5	10	10	1	5	41
	Levelflex FMP57	5	5	5	5	1	5	26
	Rotary sensor	1	1	1	1	1	10	15
Modifikasi mesin transfer output silo	Screw Progressive	10	10	5	10	1	10	46
	Modifikasi lubang output silo	5	5	5	5	1	10	31
Kombinasikan mesin dengan sistem kontrol kecepatan	Variable frequency drive	10	5	5	5	1	10	36
	Variable speed pulley	1	1	5	1	5	10	23

Dari pemilihan alternatif *design improvement* menggunakan *scoring*, perbaikan yang akan dilakukan yaitu pemasangan sensor radar transmiter SITRANS LR560, modifikasi *screw progressive*, dan pemasangan *variable frequency drive*.

Tindakan perbaikan Pemilihan variable frequency drive

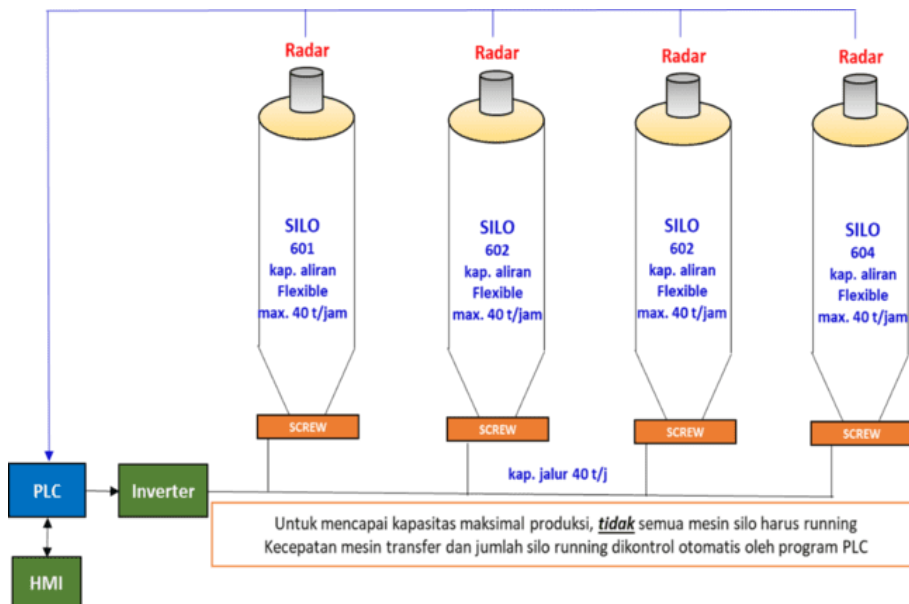
Dengan karakteristik kebutuhan motor sebesar 5,5 KW (sesuai tabel 8), untuk VFD/inverter yang akan digunakan yaitu SIEMENS SINAMIC V20 5,5 KW/7,5 HP. Pemilihan tipe SIEMENS karena menyesuaikan dengan HMI yang dipakai juga SIEMENS, sehingga memudahkan dalam pemograman.

Dari hasil pengujian dengan beban aliran *product* yang ada, didapatkan perbedaan konsumsi listrik dari sebelum dan sesudah pemasangan VFD. Dengan adanya VFD lebih bisa fleksibel menyesuaikan isi *product* di dalam silo yang terbaca oleh sensor radar. Pada gambar 8 dijelaskan sistem blok diagram integrasi sensor radar, *system control*, dan pemilihan *running* motor.



Gambar 8. Blok diagram system variable frequency drive

Pemilihan *automatic running* motor sebagai penggerak *screw conveyor* dipilih berdasarkan logika isi melebihi 30% di dalam silo dengan kecepatan yang variatif. Visualisasi blok diagram dijelaskan melalui gambar 9.



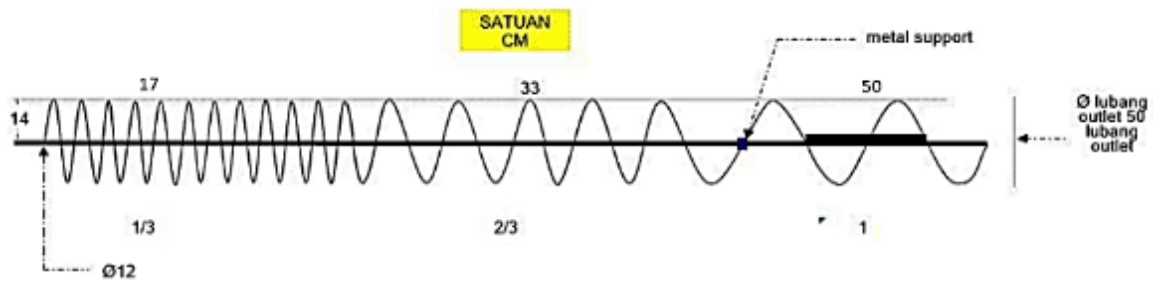
Gambar 9. System integrasi VFD, PLC, dan running motor

Modifikasi screw progressive

Di dasari karena seringnya terjadi *stacking product* dengan *screw* konvensional (lebar *pitch* nya sama) mengakibatkan terhambatnya *product* untuk mengalir ke mesin press sehingga mesin press jalan namun kosongan (tanpa ada produk yang digiling), berdampak konsumsi listrik tetap jalan namun hasil produksi tidak didapatkan sehingga nilai rasio konsumsi listrik tinggi. Perhitungan *screw* yakni merujuk pada literatur *swiss milling school* dengan judul bukunya *mechanical conveying*. Dimana lebar *pitch* daun *screw* dibagi menjadi 3 zona, seperti pada tabel 13.

Tabel 13. Perhitungan zona dan lebar pitch daun screw

Data screw silo		Pembagian zona	Detail screw modifikasi		
Diameter (m)	Panjang (m)	Zona	Faktor	S = F * D	Panjang (P/Z)
0,5	3,5	1	1,0	0,50	1,2
0,5	3,5	2	0,7	0,44	1,2
0,5	3,5	3	0,3	0,17	1,2



Gambar 10. Ukuran ulir lebar daun screw

Dengan modifikasi terjadinya perbedaan jarak lebar *pitch* daun screw mulai ujung depan sampai belakang, berdampak positif terhadap kapasitas aliran produk. Dari sebelumnya kapasitas aliran 20 ton/jam meningkat menjadi 40 ton/jam. Hal ini karena *product* yang berada disisi *outlet* lebih mudah langsung turun ke lubang *outlet* dengan lebar *pitch* yang lebih besar. Aliran *product* di dalam silo juga lebih merata, dari sebelumnya sering terjadi *stacking* di dalam silo karena dorongan *product* lebih besar dari belakang. Peningkatan kapasitas ini tidak merubah motor penggerak, sehingga dengan daya listrik yang sama mampu terjadi peningkatan kapasitas transfer *product*. Dengan penambahan pemasangan *variable frequency drive* pula kecepatan mesin mampu fleksibel menyesuaikan isi *product* di dalam silo, sehingga kecepatan dan arus pada motor tidak selalu konstan pada maksimal. Sebelumnya untuk mencapai kapasitas 40 ton harus menjalankan 2 mesin *screw extractor*, kini untuk mencapai 40 ton/jam cukup menjalankan 1 mesin *screw extractor*. Hal itu juga yang berdampak positif terhadap penurunan rasio konsumsi listrik.

Tabel 14. Perbandingan terhadap turunnya aliran *product*.

BEFORE	AFTER
<p>Screw dengan <i>pitch</i> tidak beraturan, tidak bisa mengeluarkan <i>product</i> secara merata, sehingga turunnya <i>product</i> tidak berimbang, mengakibatkan kapasitas output silo tidak sebanding dengan kapasitas mesin <i>press</i> yang running</p>	<p>Aliran <i>product</i> merata dan maksimal sehingga sebanding dengan kapasitas mesin <i>press</i> yang running</p>

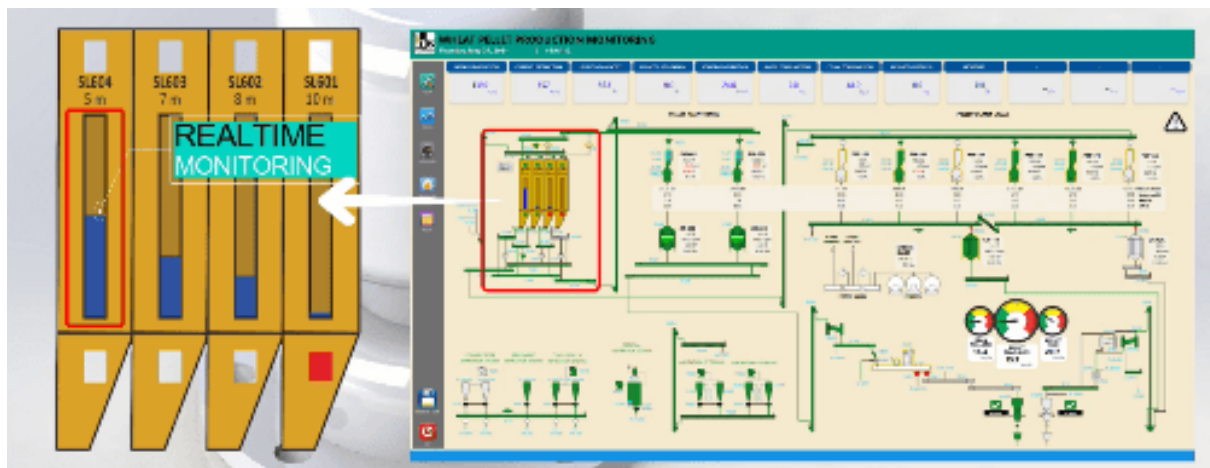
Sensor radar

Dalam peletakan sensor radar SITRANLR560 beberapa *trial* yang dilakukan dalam penentuan titik penetapan yang maksimal dan akurat dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 15. Trial pengujian pemasangan sensor radar.

Penempatan titik sensor			Tinggi support sensor		
Trial	Titik pusat	Keterangan	Trial	Hasil	Keterangan
Dinding utara	Not Ok	Pancaran radar ke dinding samping silo	20 cm	Not Ok	Radar terkena support sensor
Tengah	Ok	Pancaran radar ke dasar silo/screw	15 cm	Not Ok	Radar terkena support sensor
Pilar	Not Ok	Pancaran radar ke dinding samping silo	10 cm	Ok	Radar langsung ke dasar silo
Dinding timur	Not Ok	Pancaran radar ke dinding samping silo	7 cm	Not Ok	Terlalu dekat bordes, sulit dalam maintenance

Karena *product wheat bran pollard* berdebu, maka diperlukan *automatic cleaning* sensor dengan angin untuk menjaga keakuratan dari sensor radar. *Automatic cleaning* diatur setiap 20 menit sekali selama 20 *second* dengan angin bertekanan 2 bar. Monitoring dikoneksikan ke layar SCADA secara *realtime* untuk mengetahui kondisi di dalam silo, tampilan dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Tampilan monitoring isi product di dalam silo

Analisis penghematan energi

Perhitungan daya dan energi motor dengan pengendalian *variable frequency drive* berbeban 50 n.m (*wheat bran pollard*). Mesin screw conveyor beroperasi sehari penuh selama 24 jam. Jadi energi listrik yang dibutuhkan selama beroperasi untuk jalur transfer *screw conveyor* silo dapat dihitung sebagai berikut :

$$W = P \times t \tag{6}$$

Dimana W adalah energi listrik (kwh), P adalah daya listrik (kw), dan t adalah waktu penggunaan (jam).

Tabel 16. Perhitungan daya dan energi motor tanpa pengendalian VFD

Mesin	Tegangan (V)	Arus (A)	Cos φ	Daya (Watt)	Energi (KWH)	N2 (RPM)	Kapasitas
EXT 23K	400	15	0,87	5220	1252,8	50	20 ton/jam
EXT 24K	400	16,2	0,85	5508	1321,9	50	20 ton/jam
EXT 25K	400	15	0,87	5220	1252,8	50	20 ton/jam
EXT 26K	400	16	0,86	5504	1320,9	50	20 ton/jam
Total					5148,5		

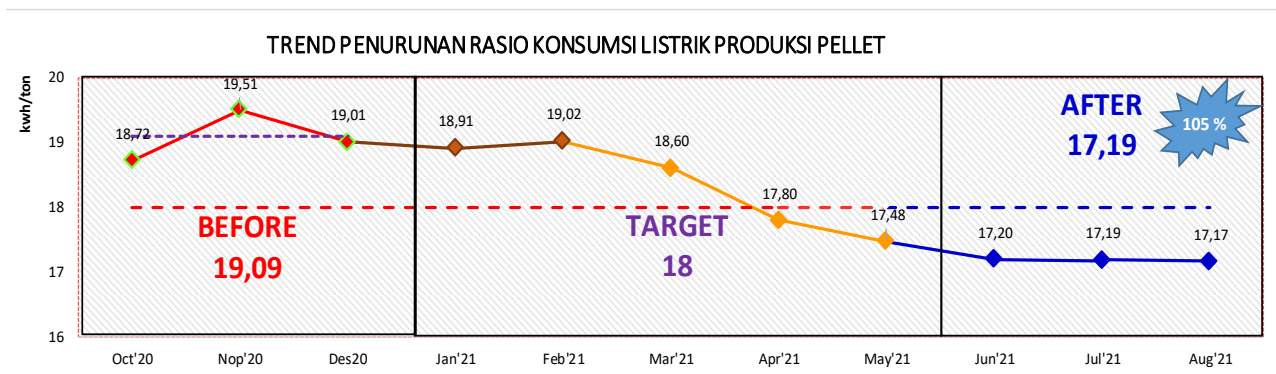
Tabel 17. Perhitungan daya dan energi motor dengan pengendalian VFD

Mesin	Tegangan (V)	Arus (A)	Cos φ	Daya (Watt)	Energi (KWH)	N2 (RPM)	Kapasitas
EXT 23K	385	13,8	0,87	4622,31	1109,3	47	40 ton/jam
EXT 24K	390	14,7	0,85	4873,05	1169,5	47	40 ton/jam
EXT 25K	390	12,9	0,87	4376,97	1050,4	46	40 ton/jam
EXT 26K	400	14,2	0,86	4884,8	1172,3	47	40 ton/jam
Total					4501,7		

Dengan demikian, energi listrik yang dibutuhkan dalam sehari untuk mengoperasikan mesin *screw extractor* adalah 5148,5 KWH. Pengehematan energi pengoperasian mesin Extruder dalam sehari sebesar $5148,5 - 4501,7 = 646,8$ KWH.

Evaluasi hasil

Dari hasil pengukuran yang dituangkan dalam data laporan bulanan pada Juni-Agustus 2021, pada Gambar 12 dan Tabel 18, terjadi penurunan rasio konsumsi listrik menjadi 17,18 kwh/ton, dan penghematan sebesar Rp 31.748.161.



Gambar 12. Evaluasi hasil terhadap target

Tabel 18. Laporan hasil produksi setelah improvement (Jun-Agus 2021).

Bulan	Produksi Pellet (ton)	Listrik				
		Konsumsi Listrik (Kwh)				
		Aktual	Target	Rasio (kwh/ton)	Hemat	Saving (Rp)
Jun'21	15.510	266.772	279.180	17,20	12.408	12.367.549
Jul'21	11.196	192.459	201.528	17,19	9.069	9.039.435
Ags'21	12.500	214.625	225.000	17,17	10.375	10.341.177
Total	39.206	673.856	705.708	Rata-rata : 17,18	31.852	31.748.161
Catatan		Biaya Listrik : Rp 996,74 per KWH Target Rasio : 18 kwh/ton				

Standarisasi improvement

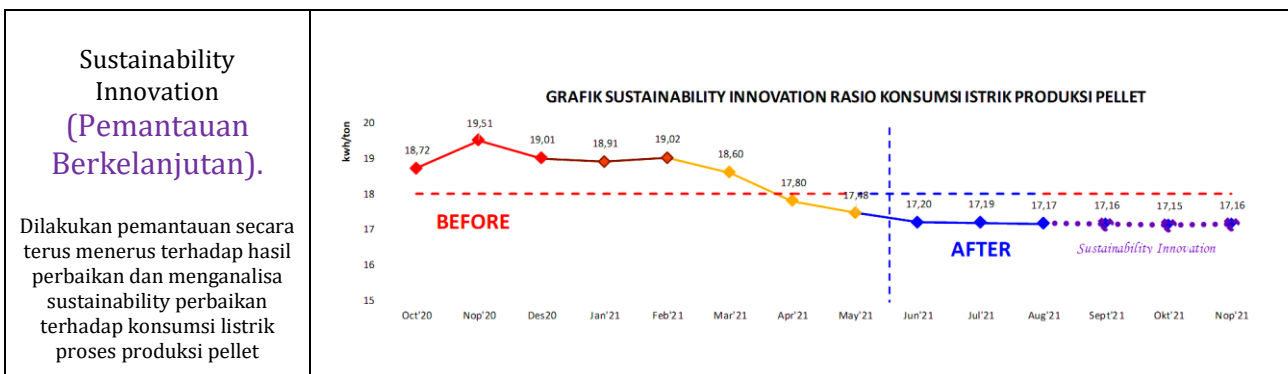
Kemudian Langkah standarisasi improvement yang dilakukan tertuang secara rinci di dalam tabel 19.

Tindak lanjut

Pemantauan berkelanjutan juga terus dilakukan terhadap hasil perbaikan untuk mengetahui konsumsi listrik pada proses produksi yang telah dilakukan *improvement*. Hasil pemantauan seperti pada Gambar 13.

Tabel 19. Standarisasi dari *improvement* yang dilakukan

Item standarisasi	Point penting	Keterangan	Disahkan	Sosialisasi
<i>Screw conveyor progressive</i>				
Standar alat	Pembagian zona screw conveyor	Zona 1, 50 cm, panjang 120 cm	Deputy Head Miller	Training 29-03-2021
		Zona 2, 33 cm, panjang 120 cm		
		Zona 3, 17 cm, panjang 120 cm		
<i>Sensor silo SITRANS Radar Transmitter LR560</i>				
Standar alat Setting parameter terhadap nilai input	LOE Timer	100 s (setting looping update data)	Deputy Head Miller	Training 05-04-2021
	HL merah	Kap 25 ton/0 m		
	LL merah	Kap 0 ton/10 m		
	3 sec/jam running	1 flushing/20 menit		
	Kesesuaian pengukuran	Internal kalibrasi 6 bulan sekali		
<i>Variable frequency drive</i>				
Standar alat	Spec mesin	7,5 KW	Deputy Head Miller	Training 31-05-2021
Standar operasional	Set frek	12,5 Hz = 10 ton/jam		



Gambar 13. Grafik pemantauan berkelanjutan

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan *improvement* didapatkan 4 kesimpulan yaitu pertama, pemasangan *variable frequency drive* pada motor mesin *screw conveyor* dengan daya 5,5 KW mampu menghemat energi listrik 646,8 KWH (rentan pengujian 24 jam) dibandingkan rangkaian motor tanpa VFD.

Kedua, dengan modifikasi *screw progressive* dengan jarak lebar *pitch* daun *screw* yang dibedakan menjadi 3 zona (semakin menuju outlet semakin lebar) mampu meningkatkan kapasitas aliran *product*, dari sebelumnya 20 ton/jam menjadi 40 ton/jam. Sehingga untuk mencapai kapasitas maksimal penerimaan jalur mesin selanjutnya sebesar 40 ton/jam cukup *running* 1 mesin *screw* sudah mampu sebanding dengan kapasitas mesin press yang jalan.

Ketiga, sensor radar mempermudah monitoring operator dalam pemantauan isi *product* di dalam silo. Sensor radar juga mampu memberikan informasi yang akurat terhadap logika yang akan diolah oleh PLC untuk menggerakkan motor *screw* yang variasi kecepatannya mampu berubah-ubah dengan adanya VFD.

Keempat, secara signifikan menunjukkan terjadinya penurunan rasio konsumsi listrik dari laporan bulan Juni 2021 sebesar 17,20 kwh/ton, Juli 2021 sebesar 17,19 kwh/ton,

Agustus 2021 sebesar 17,17 kwh/ton. Melebihi target dari management yaitu sebesar 18 kwh/ton. Terjadi penghematan biaya listrik selama 3 bulan (Jun-Agus 21) sebesar Rp 31.748.161 (biaya listrik 996,74/kwh).

Saran

Untuk saran, dilakukan pemasangan AC panel pada panel listrik untuk menjaga sirkulasi udara yang rentan terjadinya *overheat*, karena *overheat* menyebabkan *downtime* produksi dan lonjakan *start* awal lagi motor-motor listrik. Perlu juga dilakukan pengecekan mesin, komponen listrik, dan sensor secara berkala.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Billy Gunawan, Budihardjo, Jimmy S. Juwana, Jimmy Priatman, Wahyu Sujatmiko, Totok Sulistiyanto, Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia. Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia di bawah Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, Jakarta: KESDM, 2012.
- [2] Feed Ardiansyah, Andi Hendra, Pedoman Management Energi PT Indofood Sukses Makmur Tbk Divisi Bogasari Flour Mills, Jakarta: Energi, 2017
- [3] Elvy Sahnur Nasution, Arnawan Hasibuan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P", Jurnal Sistem Informasi ISSN P : 2598-599X; E: 2599-0330, Vol 2. No.1 April, 2018.
- [4] A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr and Stephen D. Umans dengan alih bahasa Ir. Djoko Achyanto M.sc, EE. Mesin-Mesin Listrik, Edisi Keempat, Jakarta: Erlangga, 1986.
- [5] Siemens Canada, Radar Transmitter SITRANS LR560 (mA/HART), Peterborough: SIEMENS, 2017
- [6] Susilo Adi Widyantoa, Sukamtab, Agus Suprihantoa, Ojo Kurdia, "Penentuan Sudut Kemiringan Kritis Struktur Dinding Silo Berkapasitas Penyimpanan 4650 Ton", ROTASI, Vol. 22 No. 3 Hal. 201-207, 2020
- [7] Farid Ahmad Zakariya, Analisa Reaksi Gaya Screw Conveyor Pada Rancang Bangun Mesin Penggiling Beras Skala Rumah Tangga, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya, 2014.
- [8] Robert Soltermann, Mechanical Conveying, Swiss: SMS, 2010.
- [9] Ariyoto, Gugus kendali mutu, ogenkidesuka? Manajemen Usaha Indonesia, Jakarta: GKM 1989.