

## Desain Pre-Filter dan Optimasi Tekanan, Jumlah Filter, Operasional *Guide Vane* Terhadap Konsumsi Listrik Kompresor

Roni Eko Yuwono<sup>1\*</sup>, Indra Chandra Setiawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

\*Email Corresponding Author: ronie\_yuwono@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Kompresor sentrifugal digunakan untuk aplikasi di dunia industri. Kompresor udara menyumbang sebagian besar energi yang dikonsumsi, dimana energi tersebut merupakan konsumsi listrik yang digunakan untuk menjalankan kompresor dan biaya perawatannya, salah satunya adalah biaya konsumsi filter hisap. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan terus-menerus untuk menekan biaya operasional pabrik, salah satu caranya adalah dengan mengurangi konsumsi filter hisap melalui penambahan filter hisap dan diperoleh konsumsi listrik kompresor yang optimal. Metode yang digunakan dalam percobaan adalah dengan memvariasikan parameter tekanan (MPa), jumlah filter hisap dan operasional *guide vane* sebagai parameter independent dibandingkan dengan Aliran Udara ( $m^3/jam$ ), Arus (A) dan daya motor (kW) sebagai parameter dependent parameter. Dianalisis untuk mendapatkan nilai yang paling optimal. Desain pre-filter hisap dapat memperpanjang masa pakai filter utama hisap dari masa pakai sebelumnya yaitu 2160 jam menjadi 8640 jam. Jadi persentase kenaikannya sebesar 300%, melebihi target biaya Perusahaan sebesar 30%. Berdasarkan metode Taguchi, nilai parameter paling optimal pada tekanan 0,6 MPa; Filter (Main-filter + Pre-filter); Pengoperasian *guide vane* 70% dari daya spesifik optimum. Dan kondisi ini tidak menyebabkan penurunan tekanan.

**Kata kunci:** Kompresor, Tekanan, Filter Hisap, *Guide Vane*

### ABSTRACT

*Centrifugal compressors are used for applications in the industrial world. Air compressors contribute most of the energy consumed, where this energy is the consumption of electricity used to run the compressor and maintenance costs, one of which is the cost of consuming the suction filter. Therefore, continuous improvements need to be made to reduce factory operational costs, one way is to reduce suction filter consumption through the addition of suction filters and obtain optimal compressor electricity consumption. The method used for the experiment is by varying the pressure parameters (MPa), the number of suction filters and *guide vane* openings as independent parameters compared with Air flow ( $m^3/hr$ ), Current (A) and motor power (kW) as dependent parameters. Analyzed to get the most optimal value. The suction pre-filter design can extend lifetime of suction main-filter from the previous lifetime is 2160 hours to 8640 hours. So the increasing percentage is 300%, this exceeds the Company's target cost of 30%. Based on the Taguchi method, the most optimal parameter value at a pressure of 0.6 MPa; Filter (Main-filter + Pre-filter); Operational of *guide vane* 70% of optimum specific power. And this condition does not cause a pressure drop.*

**Keywords:** Energy Harvesting, Linear Electromagnetic Generator, Magnetic Field

### PENDAHULUAN

Sistem udara bertekanan atau biasa disebut Air Compressor merupakan salah satu energi utama yang digunakan dalam dunia industri seperti kimia, kedokteran, tekstil, dan pembuatan kapal. Dan menurut data yang dilaporkan, energi yang dikonsumsi oleh sistem udara bertekanan menyumbang 10% dari total konsumsi daya di UE dan Tiongkok, dan 9% dari total konsumsi daya di Amerika Serikat, Malaysia, Tiongkok dan Afrika Selatan [1]. Sistem udara bertekanan terutama meliputi filter, kompresor udara, pendingin, pengering udara

(Air Dryer) dan peralatan pendukung lainnya. Kompresor udara menyumbang sebagian besar energi yang dikonsumsi dimana energi tersebut adalah konsumsi dari listrik yang dipakai untuk menjalankan kompresor [2]. Di sisi lain pada operasional pabrik salah satu penyumbang biaya tertinggi adalah biaya perawatan, oleh karena itu perlu melakukan penghematan terhadap biaya perawatan [3], salah satunya adalah konsumsi dari suction *filter*. Kinerja kompresor salah satunya dipengaruhi oleh kontaminasi polutan yang akan berpengaruh terhadap peralatan pneumatik dan mengurangi ketahanan kerusakan sampai dengan 3-7 kali, 80% kerusakan pada

jaringan pneumatik dikaitkan dengan buruknya kualitas udara [4]. Salah satu solusi untuk menangkap polutan udara adalah dengan proses filtrasi [5]. Berdasarkan data konsumsi *filter* hisap udara pada kompresor, diperoleh data sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Konsumsi Filter Udara Pada Kompresor

Nama Kompresor	Filter hisap udara ( <i>Main filter</i> )		
	Harga	Konsumsi/tahun	Total/tahun
IHI Kompresor 1	Rp7.469.000	4	Rp29.876.000
IHI Kompresor 2	Rp7.469.000	4	Rp29.876.000
IHI Kompresor 3	Rp7.469.000	4	Rp29.876.000
TOTAL BIAYA/TAHUN			Rp89.628.000

Dengan tuntutan penurunan biaya konsumsi listrik untuk kompresor dibutuhkan parameter proses yang sesuai agar memberikan keyakinan bahwa produk yang dihasilkan oleh proses memenuhi standar kualitas produk yang sudah ditentukan. Dengan berbagai hal yang melatar belakangi sebagaimana yang dibahas maka dipilih tema yang akan menjadi bahan penelitian yaitu mengenai optimasi parameter panjang pipa, jumlah katup dan lokasi pada kompresor untuk menurunkan konsumsi listrik kompresor [6]. Da Guoa, Zhixian Ma, Jili Zhang, Mingsheng Liu, pada tahun 2017 di China, yang menceritakan tentang penyelidikan terhadap dampak *Pre-cooling udara* pada konsumsi energi dari kompresor udara. Percobaan dilakukan pada *screw* kompresor udara dengan daya motor 11 kW. Hasilnya konsumsi energi berkurang 0,65% untuk setiap 1°C penurunan suhu udara hisap. Konsumsi energi berkurang 0,243% untuk setiap 1% penurunan kelembapan. Konsumsi energi secara signifikan dapat dikurangi dengan *pre-treating* atau *pre-cooling* udara hisap [7].

Berdasarkan penjelasan di atas maka dapat dijelaskan bahwa untuk mendapatkan optimasi pada daya kompresor dengan menggunakan tambahan *filter* yang tentu saja akan berdampak pada keuntungan pengguna kompresor dalam hal ini adalah Perusahaan, maka dapat diambil sebagai permasalahan adalah sebagai berikut:

- Penambahan *pre-filter hisap* yang bisa memperpanjang umur pakai *main filter* hisap sesuai dengan target Perusahaan (Target: 30% *cost reduce*)
- Apakah *Pressure* (tekanan) drop akibat penambahan *pre-filter hisap* bisa di kompensasi dengan kenaikan daya kompresor dan *adjustment guide vane* tanpa

mempengaruhi kebutuhan CAS (*Compressed Air Supply*) di lini produksi?

- Apakah kenaikan biaya konsumsi listrik akibat penambahan *pre-filter hisap* lebih kecil apabila dibandingkan dengan penghematan biaya perawatan?

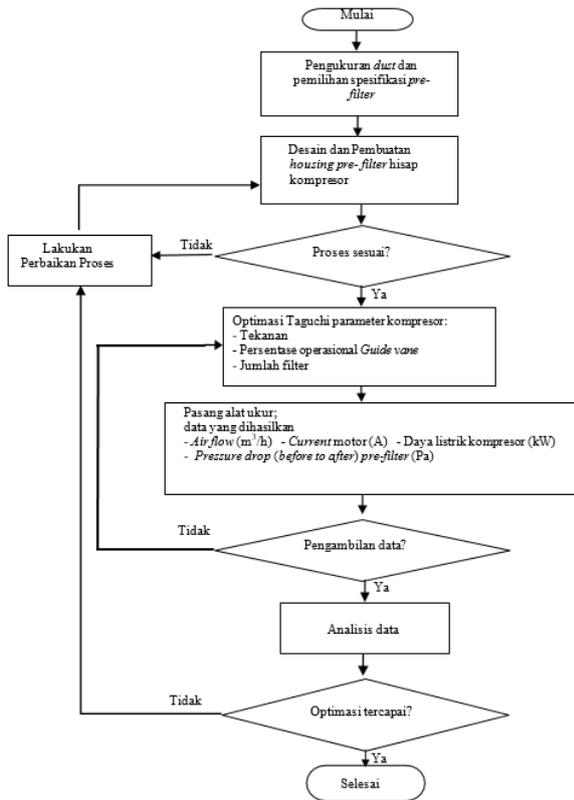
Dengan kebutuhan akan penurunan konsumsi listrik kompresor dan tuntutan kualitas yang tetap terjamin maka pada penelitian ini mempunyai tujuan untuk memperpanjang umur pakai *main filter* hisap sesuai dengan target Perusahaan (Target: 30% *cost reduce*), setelah memperpanjang umur selanjutnya menentukan nilai parameter kompresor yang optimum sehingga dapat dijalankan dan masih sesuai dengan kebutuhan tekanan untuk *supply* ke pabrik dan juga dapat mengetahui biaya konsumsi listrik akibat penambahan *pre-filter hisap*, untuk memastikan apakah biaya tersebut lebih kecil ataukah lebih besar apabila dibandingkan dengan penghematan biaya *main filter hisap*.

## METODE PENELITIAN

### Tahapan Penelitian

Langkah - langkah dalam melakukan penelitian ini dibuat langkah proses penelitian sehingga alur penelitian dapat berjalan dengan jelas dan juga selesai sesuai dengan waktu yang telah ditentukan dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Pengambilan *dust* (debu) yang diambil dari *main-filter* setelah itu dilakukan pengukuran dimensi *dust* nya ke laboratorium, kemudian dilakukan pemilihan spesifikasi *pre-filter* berdasarkan dimensi atau ukuran dari *dust* nya.
2. Desain dan pembuatan *housing* berdasarkan dimensi *pre-filter* yang mana dipilih dari point 1.
3. Optimasi Taguchi parameter, untuk *independent* parameter nya adalah tekanan, persentase operasional *guide vane*, dan jumlah *filter*.
4. Memasang alat ukur untuk mendapatkan nilai *Air flow*, *current motor*, daya listrik kompresor, tekanan (*pressure*) drop (sebelum dan sesudah *pre-filter*).
5. Melakukan pengambilan data untuk mendapatkan nilai *dependent* faktor sesuai point 4.
6. Dari data yang didapatkan dari point 5, maka dilakukan optimasi menggunakan metode Taguchi untuk mendapatkan nilai *power specific* yang paling efisien.



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

### Penentuan Kompresor

Kompresor yang akan digunakan untuk melakukan penelitian adalah kompresor IHI no.#1 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi Kompresor

Brand	: IHI
Type	: Turbo compressor T2A200 - H
Gas	: Air
Gas capacity	: 33.3 m <sup>3</sup> /min
Outlet pressure	: 0.8 MPa
Atom. Press	: 0.1013 MPa
Suction press	: 0.0993 MPa
Suction temp	: 35°C
Relative humidity	: 80%
Cooling inlet	: 32°C
Input speed	: 2960 min-1
Shaft power	: 230 kW

### 3.3 Penentuan Parameter

Setelah persiapan selesai maka

dilakukan pengambilan data awal dimana parameternya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Parameter Pengambilan Data Awal

Variasi No.	Faktor		
	Pressure (MPa)	Filter Hisap	Operasional guide vane (%)
Kondisi awal	0,8	main-filter	100
Kondisi improvement	0,8	main filter&pre-filter	100

Selanjutnya untuk menentukan parameter yang optimum maka digunakan metode eksperimen Taguchi. Berikut ini adalah parameternya, ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Parameter Pada Penelitian

Kontrol Parameter	Level	
	1	2
A - Pressure (MPa)	0.6	0.7
B - Filter hisap	Filter ke-1	Filter ke-1 & Filter ke-2
C - Opening Guide Vane	70%	100%

Filter ke-1 = Pre-filter

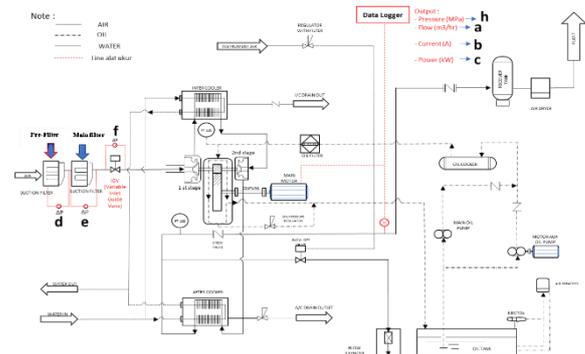
Filter ke-2 = Main-filter

Nilai level tersebut di pilih berdasarkan nilai batas minimal yang masih bisa diterima di lini produksi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Eksperimen

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan pada tanggal 20 Desember 2023, Pengambilan data oleh data logger selama 10 menit yang di record setiap detik, dengan konfigurasi pengambilan data seperti Gambar 2.



Gambar 2 Konfigurasi Pengambilan Data

Berdasarkan hasil eksperimen maka diperoleh data hasil pengukuran rata-rata dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Data Hasil Eksperimen

Variasi No.	Faktor			Discharge Flow (m <sup>3</sup> /hr) (a)	Motor Current (Ampere) (b)	Motor Power (kW) (c)	ΔP Pre-filter (Pa) (d)	ΔP Main-filter (Pa) (e)	ΔP Guide (Pa) (f)	Suction Temperature/Ambient Temperature (°C) (g)	Actual pressure (Mpa) (h)	Specific Power (kW/(m <sup>3</sup> /hr)) (i)
	Pressure (MPa)	Filter Hisap	Opening guide vane (%)									
Kondisi Awal 1	0,8	Main-Filter	100	1405,8	350,29	206,51	/	/	/	40	0,8	0,1469
Kondisi Improvement	0,8	Main Filter&Pre-Filter	100	1408,09	350,78	206,67	40	/	/	40	0,8	0,1468
1	0,6	Main-Filter	70	1441,09	345,1	197,55	/	/	/	39,8	0,6	0,137
2	0,6	Main Filter&Pre-Filter	100	1553,5	371,15	213,4	40	/	/	41	0,6	0,1373
3	0,7	Main-Filter	100	1454,5	366,9	210,69	/	/	/	40	0,7	0,1448
4	0,7	Main Filter&Pre-Filter	70	1435,1	357,9	205,7	40	/	/	41	0,69	0,1433
Taguchi methode	0,6	Main Filter&Pre-Filter	70	1517,28	340,4	200,4	40	/	/	35,3	0,6	0,132

### Nilai Saving Cost

Perhitungan nilai *saving cost* bisa dilihat dibawah ini:

- Kondisi awal (tekanan: 0,8MPa; *main filter*; *opening guide vane* 100%) terhadap kondisi *improvement* (tekanan: 0,8MPa; *pre-filter* + *main filter*; *opening guide vane* 100%), nilai *saving cost* nya adalah sebagai berikut  
 = Biaya Listrik per tahun pada kondisi awal  
 – Biaya Listrik per tahun pada kondisi *improvement*  
 = Rp. 3.432.493.404,7992 - Rp. 3.435.744.393,4023  
 = - **Rp. 3.250.988,6031**
- Variasi no. 1 terhadap kondisi *improvement*; Dimana variasi no. 1 sebagai representative parameter yang paling efisien, nilai *saving cost* nya adalah sebagai berikut  
 = Biaya Listrik per tahun pada kondisi *improvement* – Biaya Listrik per tahun pada variasi 1  
 = Rp. 3.435.744.393,4023 - Rp. 3.218.527.503,1728  
 = **Rp. 217.216.890,225**
- Nilai *saving cost* antara kondisi awal (tanpa *pre-filter*) dibandingkan dengan kondisi *improvement* (menambahkan *pre-filter*), untuk mengetahui apakah *saving cost* ini masih bisa
- Menutup kenaikan biaya Listrik, nilai *saving cost* nya adalah sebagai berikut  
 = (*Saving cost filter* per tahun) + (Selisih biaya listrik kondisi awal terhadap kondisi *improvement*)  
 = Rp. 13.407.000 + (- Rp. 3.250.988,6031)  
 = **Rp. 10.156.011,3969**

### Optimasi Dengan Menggunakan Metode Taguchi

Sehingga, berikut ini adalah merupakan

perhitungan *cost* dari faktor parameter yang didapatkan dari metode Taguchi (tekanan: 0,6 MPa; *opening guide vane* 70%; *pre-filter* + *main-filter*):

Harga Listrik/kWh = Rp. 1.953; *Power specific* rata – rata = 0,1320 kW/m<sup>3</sup>/hour; *air flow* rata – rata yang dibutuhkan = 1517,28 m<sup>3</sup>/hour; waktu operasi kompresor 1 tahun = 8.000 hours; Motor efisiensi = 94% = 0,94

- Konsumsi Listrik per tahun = (*power specific*/motor efisiensi) x flow yang dibutuhkan x waktu operasi kompresor 1 tahun.

$$= (0,1320 \text{ kW/m}^3/\text{hour} / 0,94) \times 1517,28 \text{ m}^3/\text{hour} \times 8.000 \text{ hours} \\ = 1.704.518,8083 \text{ kWh}$$

- Biaya Listrik per tahun = konsumsi Listrik per tahun x harga Listrik per kWh  
 = 1.704.518,8083 kWh x Rp. 1.953  
 = **Rp. 3.328.925.232,6099**

Dari hasil perhitungan biaya konsumsi listrik dari faktor parameter yang didapat dari selisih biaya dari faktor yang didapat dari metode Taguchi dengan parameter kondisi *improvement*, *saving cost* nya sebagai berikut:

$$= \text{Biaya Listrik per tahun pada kondisi Improvement} - \text{Biaya Listrik per tahun pada metode Taguchi} \\ = \text{Rp. } 3.435.744.393,4023 - \text{Rp. } 3.328.925.232,6099 \\ = \text{Rp. } 106.819.160,7924$$

Apabila ditambahkan nilai *saving cost filter* per tahun, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$= (\text{Saving cost filter per tahun}) + (\text{Selisih biaya listrik kondisi improvement terhadap kondisi faktor dari metode Taguchi}) \\ = \text{Rp. } 106.819.160,7924 + 13.407.000 \\ = \text{Rp. } 120.226.160,7924$$

### Penimbangan Filter

Penimbangan dilakukan untuk mengetahui *design pre-filter* hisap bisa memperpanjang umur pakai *main-filter* maka dilakukan proses penimbangan dan *lifetime* sebagai berikut:

- Kompresor sebelum dilakukan *improvement* penambahan *pre-filter* (Hanya menggunakan *main – filter*) bisa dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Penimbangan *Main – Filter* (sebelum dilakukan *improvement*) Terhadap *Lifetime*

No	Filter	Kondisi		Selisih berat (gram)	Lifetime (Hour)
		Baru (gram)	Bekas (gram)		
1	Main-Filter	1200	1250	50	2160

- Kompresor setelah dilakukan *improvement* penambahan *pre-filter* (*main – filter & pre - filter*) bisa dilihat di Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Penimbangan *Main – filter* Dan *Pre - filter* Terhadap *Lifetime* (Setelah Dilakukan *Improvement*)

No	Filter	Kondisi		Selisih berat (gram)	Lifetime (Hour)
		Baru (gram)	Bekas (gram)		
1	Pre-Filter	2100	2250	150	4320
2	Main-Filter	1200	1250	50	8640

Berikut ini adalah proses penimbangan *filter* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Penimbangan *Filter*

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka dapat diambil beberapa hal yang menjadi kesimpulan sebagai berikut:

1. Design *pre-filter* hisap bisa memperpanjang umur pakai *pre-filter* hisap dari umur *main filter* hisap yang sebelumnya 2160 jam, menjadi 8640 jam. Sehingga kenaikan umurnya adalah 300%. Hal ini melebihi target *cost* dari Perusahaan yaitu 30% tercapai.
2. Berdasarkan metode Taguchi didapatkan nilai parameter yang paling optimal yaitu pada *pressure* 0,6 MPa; *filter* (*main-filter + pre-*

*filter*); *operasional guide vane* 70% terhadap *power specific* optimum. Dan kondisi ini tidak menyebabkan *pressure drop*.

3. Berikut ini adalah biaya konsumsi Listrik terkait penambahan *pre-filter* terhadap biaya Listrik per tahun, sebagai berikut:

- Kondisi awal (tekanan: 0,8MPa; *main filter*; *opening guide vane* 100%) terhadap kondisi *improvement* (tekanan: 0,8MPa; *pre-filter + main filter*; *opening guide vane* 100%), didapatkan selisih biaya Listrik nya minus, yaitu -Rp. 3.250.988,6031 per tahun, akan tetapi apabila ditambahkan dengan *saving cost* dari *improvement* penambahan *pre-filter* yaitu Rp. 13.407.000, maka total *saving* nya adalah Rp. 10.156.011,3969.
- Variasi no. 1 terhadap kondisi *improvement*; Dimana variasi no. 1 seb: 56 representative parameter yang paling efisien, maka didapatkan selisih biaya listrik Rp. 217.216.890,225, akan tetapi dikarenakan Variasi 1 hanya menggunakan *main-filter* (tanpa *pre-filter*), maka nilai selisih biaya listrik tersebut dikurangi nilai *saving cost* penambahan *pre-filter* sebesar Rp. 13.407.000, jadi didapatkan nilai total *saving* nya menjadi Rp.203.809.890,225.
- Dari hasil perhitungan biaya konsumsi listrik dari faktor parameter yang didapat dari selisih biaya dari faktor yang didapat dari metode Taguchi dengan parameter kondisi *improvement*, *saving cost* nya adalah Rp. 106.819.160,7924 apabila ditambahkan nilai *saving cost* penambahan *pre-filter* sebesar Rp. 13.407.000, jadi didapatkan nilai total *saving* nya menjadi Rp.120.226.160,7924.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Shen, Z. Li, N. Tan, and Y. Xiao, "Design and analysis of a suction pretreatment system for the air compressor," *Energy Convers. Manag.*, vol. 263, no. May, p. 115675, 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2022.115675.
- [2] M. Ayoub, "MODELING OF INDUSTRIAL AIR COMPRESSOR SYSTEM ENERGY by," no. December, 2018.
- [3] G. Zhang *et al.*, "Research on power grid operation and maintenance cost based on analysis of internal and external influence

- factors,” *E3S Web Conf.*, vol. 329, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202132901068.
- [4] R. Jurayev, D. Xatamova, and S. Pardayeva, “Increasing the operating efficiency of mining compressor installations on the basis of improving the cooling, lubrication and air suction system,” *E3S Web Conf.*, vol. 414, pp. 1–12, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202341703016.
- [5] A. C. C. Bortolassi *et al.*, “Composites based on nanoparticle and pan electrospun nanofiber membranes for air filtration and bacterial removal,” *Nanomaterials*, vol. 9, no. 12, 2019, doi: 10.3390/nano9121740.
- [6] R. Saidur, N. A. Rahim, H. W. Ping, M. I. Jahirul, S. Mekhilef, and H. H. Masjuki, “Energy and emission analysis for industrial motors in Malaysia,” *Energy Policy*, vol. 37, no. 9, pp. 3650–3658, 2009, doi: 10.1016/j.enpol.2009.04.033.
- [7] D. Guo, Z. Ma, J. Zhang, and M. Liu, “Energy Impact of Air Pre-cooling on Screw Air Compressor,” *Procedia Eng.*, vol. 205, pp. 937–944, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.147. *semarang semarang mencapai efisiensi energi listrik di pt . texmaco perkasa engineering tbk . 2022.*