

# INOVASI TEKNOLOGI KONSERVASI ENERGI DI BOILER DAN FURNACE



PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

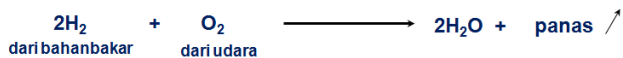
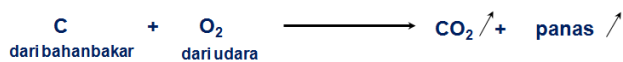
## PRINSIP PEMBAKARAN

Pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar dengan Oksigen (O<sub>2</sub>) dari udara.

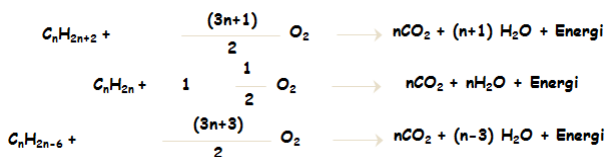
### Hasil pembakaran

Utama : Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), uap air (H<sub>2</sub>O) dan disertai energi panas

Lainnya : Karbonmonoksida (CO), abu (ash), Nox, atau sulfur (S) bergantung pada jenis bahan bakar



### PEMBAKARAN BAHAN BAKAR GAS



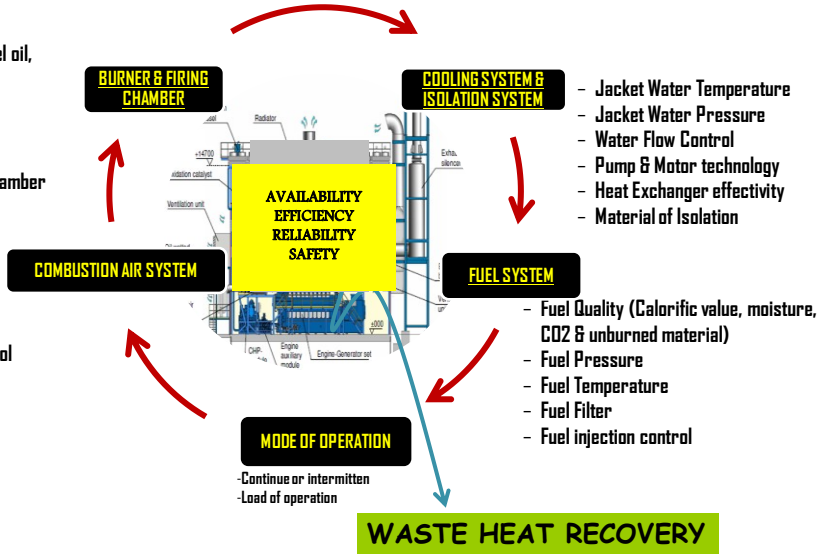
Bahan bakar + Jumlah udara teoritis  $\xrightarrow{\text{pembakaran stoikiometrik}}$  Karbondioksida + Uap air + Nitrogen dan gas-gas lainnya (kecuali Oksigen)



# PARAMETER PERFORMA

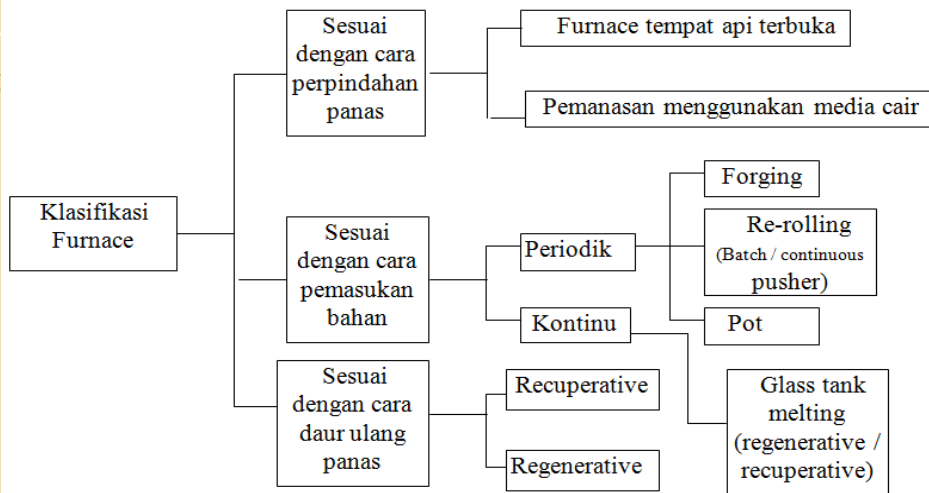
- Fuel firing type (coal, fuel oil, nat.gas)
- Burner Type
- Numbers of Burner
- Burners Arrangement
- Design & Construction Chamber
- Chamber Type
- Etc

- Inlet Air Temperature
- Inlet Air Pressure
- Combustion Air Flow Control
- Fan & motor technology



# FURNACE

## KLASIFIKASI FURNACE

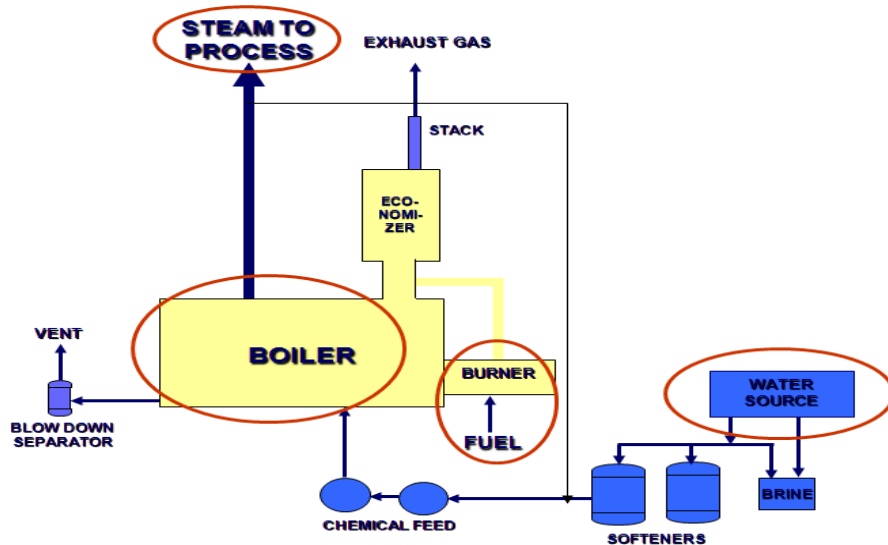




PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

## BOILER

### SKEMA PROSES

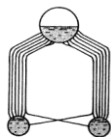
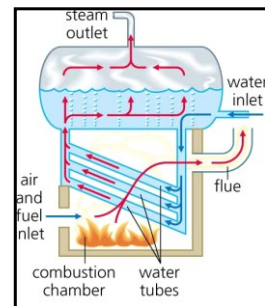


PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

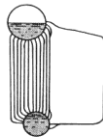
## JENIS BOILER

### 1. Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

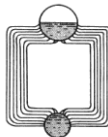
- ⊙ Air mengalir di dalam susunan pipa dan menerima panas dari luar pipa
- ⊙ Tekanan operasi dapat lebih dari 24 bar, atau kapasitas bisa lebih dari 20MW
- ⊙ Cocok untuk produksi uap *superheated* dengan jumlah besar
- ⊙ Karena konstruksinya untuk beban besar, relatif lebih mahal



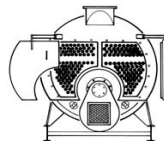
A-TYPE



D-TYPE



O-TYPE

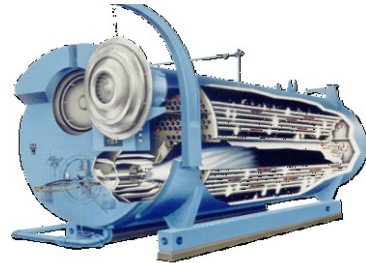
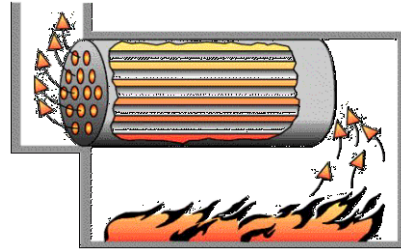




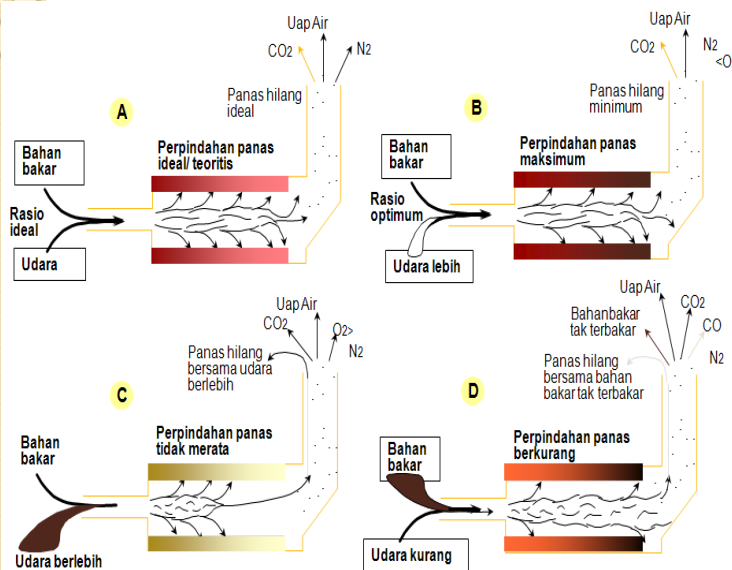
## JENIS BOILER

### 2. Boiler Pipa Api (Fire/shell Tube Boiler)

- Air mengalir melalui shell dan menerima panas dari gas pembakaran yang mengalir melalui susunan pipa api
- Tekanan operasi standar max. 250 psi (16 bar), umumnya kurang dari 7 ton/jam
- Konstruksi relatif sederhana dan umumnya kokoh serta relatif murah.
- Fleksibel terhadap perubahan beban secara cepat
- Lambat dalam mencapai tekanan operasi pada start dingin.



## PROFIL PEMBAKARAN

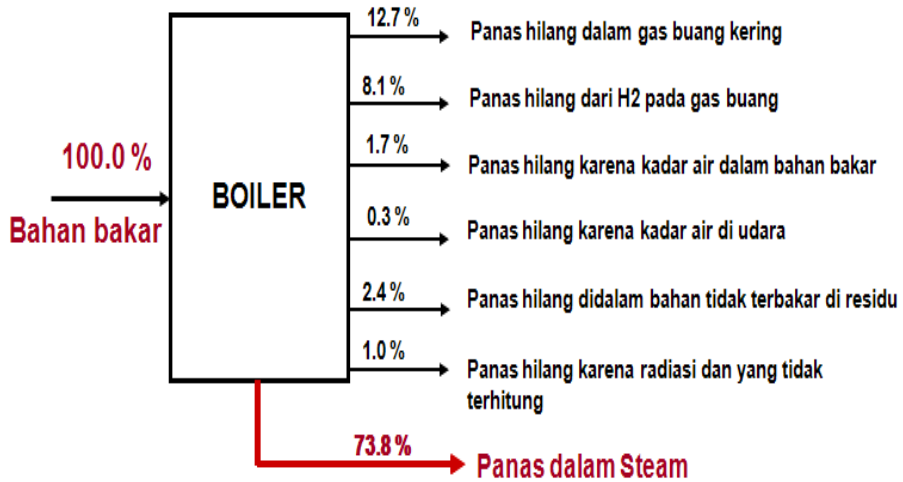


1. **BURNER KURANG BAIK**
2. **UDARA BERLEBIH (HIGH EXCESS AIR)**
3. **PEMBAKARAN TIDAK SEMPURNA (POOR AIR MIXED)**
4. **KEBOCORAN PANAS (RADIASI & KONVEKSI) DARI RUANG BAKAR**
5. **KUALITAS BAHAN BAKAR RENDAH (HIGH MOISTURE)**



PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

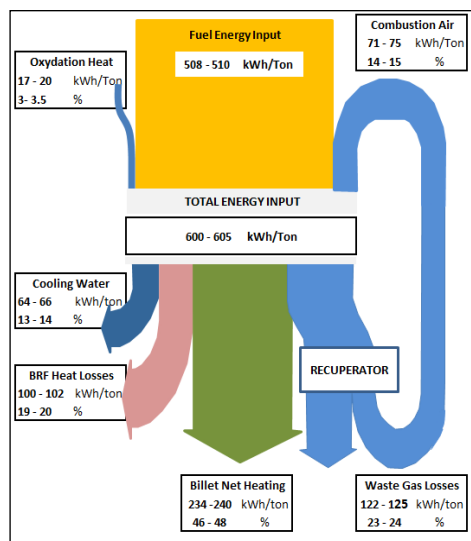
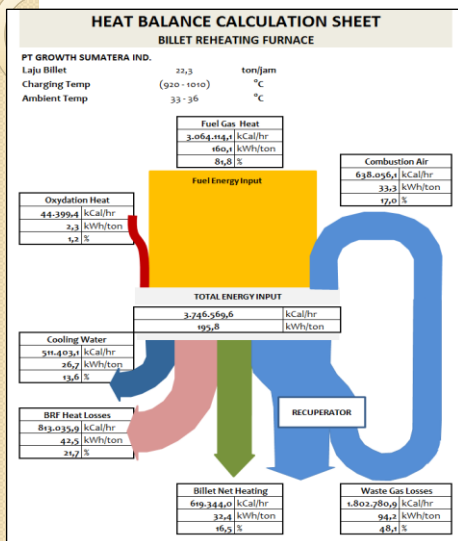
## NERACA ENERGY (PANAS)



PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

## NERACA ENERGY (PANAS)

### FURNACE BAHAN BAKAR

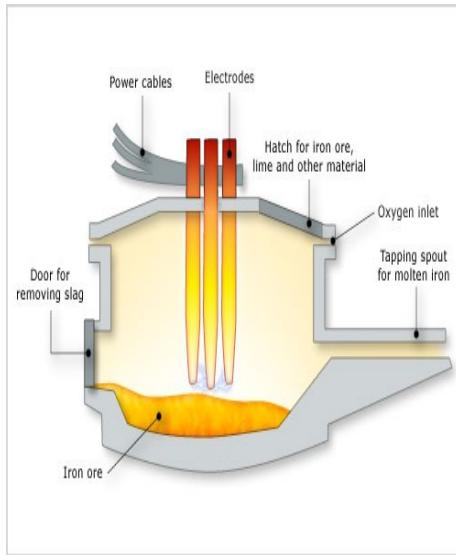


Neraca Energi Billet Reheating Furnace (best world practice)  
Source: Energy recovery in Mini Mills, Hyundai Steel, 2010

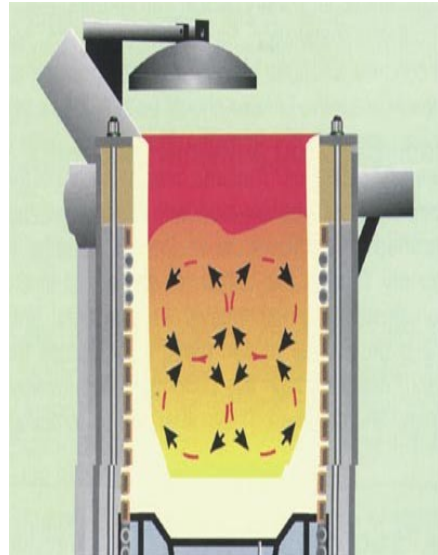


PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

# ELECTRIC FURNACE



Electric Arc Furnace

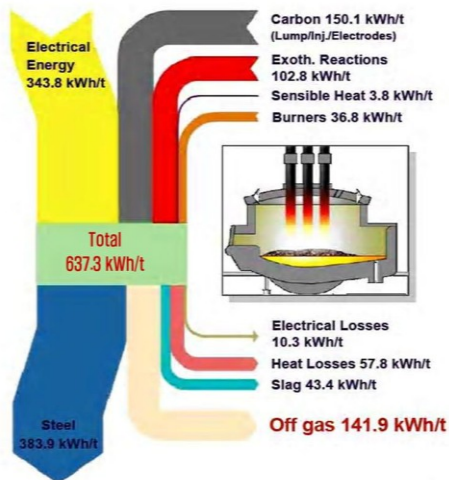


Induce Furnace

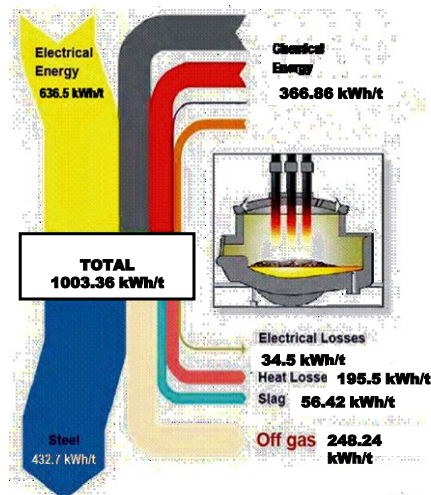


PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

# NERACA ENERGY (PANAS)



World Best Industry (Source: AISI, 2010)





## MENGAPA TIDAK EFISIEN????

- 1. UMUR BOILER DAN SISTEM YANG SUDAH TUA >> 20 thn.**  
(Rendahnya prioritas yang diberikan untuk penghematan energi dibandingkan dengan peningkatan investasi untuk produksi)
- 2. LOW EFFICIENCY TECHNOLOGY**  
(Kurangnya kesadaran akan pentingnya penerapan teknologi konservasi energi yang baru >< Investment)
- 3. LACK OF MANAGEMENT (OPERATION & MAINTENANCE)**
  - Kurangnya kesadaran akan keuntungan finansial yang akan diperoleh apabila boiler dioperasikan secara optimal.
  - Kurangnya perhatian terhadap perlunya perbaikan-perbaikan yang potensial
- 4. FLUKTUASI PROSES PRODUKSI**
- 5. MANUAL CONTROL & MONITORING**
- 6. OVER SIZE/CAPACITY**
- 7. KURANGNYA PEMAHAMAN TERHADAP TEKNIK KONSERVASI ENERGI**



## IDENTIFIKASI PERMASALAHAN

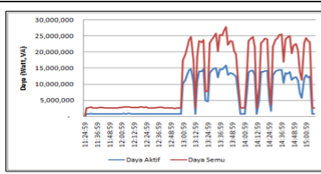
### FURNACE/BOILER DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR

- Tidak ada pengontrolan udara pembakaran (Kandungan O<sub>2</sub> relatif tinggi (12% - 20%).
- Kurangnya perawatan furnace, recuperator dan peralatan bantu.
- Tingginya laju panas buang konveksi & radiasi melalui dinding.
- Tingginya idle running furnace.
- Operasi intermitent.
- Minimnya perangkat monitoring dan autocontrol.
- Kebocoran radiasi dari celah dinding.
- Pemanfaatan panas buang kurang optimal.
- dll



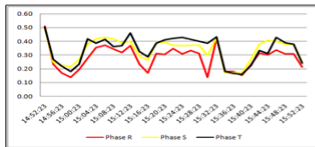
## IDENTIFIKASI PERMASALAHAN

### ELECTRIC FURNACE



#### Profil kelistrikan EAF:

1. Besaran konsumsi energi/daya listrik fluktuatif mengikuti proses arc furnace.
2. Faktor daya relatif rendah (0,2 – 0,4) dengan rata-rata 0,32. Hal ini mengakibatkan tingginya arus listrik yang mengalir pada line distribusi EAF.
3. Jatuh tegangan relatif tinggi (5%-6%) yang berdampak pada naiknya konsumsi arus pada line distribusi.

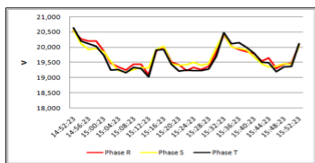


#### Dampak:

1. Naiknya losses energi pada jaringan distribusi dan electrode holder.
2. Panas berlebihan terminal dan kabel distribusi.
3. Besaran kontrak daya listrik tidak dipergunakan optimal (biaya kontrak beban yang tinggi).

#### Identifikasi PPE dan RE.

1. Pemeriksaan dan perbaikan terminal kelistrikan EAF.
2. Pemeriksaan tahanan kabel distribusi dan detail analisis untuk penggantian.
3. Pemasangan kapasitor bank/static variable compensator pada panel EAF.



### REKOMENDASI

- Pemeriksaan dan perbaikan terminal kelistrikan EF.
- Pemeriksaan tahanan kabel distribusi dan detail analisis untuk penggantian.
- Pemasangan kapasitor bank/static variable compensator pada panel EAF.



## UPAYA KONSERVASI ENERGI

Beberapa langkah aplikasi teknologi yang dapat dilakukan pada Reheating Furnace antara lain adalah:

- Pengontrolan temperatur dan udara pembakaran melalui aplikasi sensor temperatur dan oksigen yang dikombinasikan dengan VSD pada *Combustion Air Fan* dan pembukaan katup bahan bakar.
- Perbaikan dinding furnace dengan menggunakan bahan isolasi yang baik serta menutup lubang yang dapat menjadi sumber radiasi panas keluar Furnace.
- Penggunaan Variable Speed Drive control untuk sistem pemompaan air pendingin. Penggunaan teknologi ini sangat efektif jika kapasitas operasi HTF berfluktuasi dan beroperasi intermitent (ON/OFF).
- Pemanfaatan Panas Buang (Waste Heat Recovery). Merupakan langkah pemanfaatan panas buang Reheating Furnace untuk pemanasan udara pembakaran.

## RUGI-RUGI/PANAS HILANG DAN STRATEGI PENGENDALIANNYA

No	Panas Hilang	Sumber	Kontrol Operasi	Kontrol Investasi
1	Panas laten uap air	Hidrogen dalam bahanbakar	Tidak berarti	Mengganti bahanbakar
2	Panas sensibel dari gas buang	Temperatur gas buang	Kurangi udara lebih	Panas gas buang di <i>recovery</i>
3	Bahanbakar tak terbakar (CO, abu)	Pembakaran tak sempurna	Setel burner kembali, atur <i>excess air</i>	Kontrol pembakaran dengan sistem burner baru
4	Radiasi	Radiasi panas melalui permukaan boiler	Tidak ada	Perbaiki/atau isolasi kembali permukaan boiler
5	Blowdown	% Blowdown	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menjaga TDS air umpan dan air boiler pd. jumlah optimumnya</li> <li>Mengatur laju air blowdown</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Memanfaatkan <i>steam flash</i></li> <li>Panas blowdown di <i>recovery</i></li> </ul>

## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### FURNACE

#### Meminimalkan rugi-rugi panas melalui dinding

- Emisi dari dinding
- Konduktifitas termal dari refractories
- Ketebalan dinding
- Apakah furnace dioperasikan kontinu atau intermiten

#### Tipe Refractories

- Fire Clay Refractories
- High Alumina Refractories
- Silica Brick
- Magnesite
- Chromite Refractories
- Zirconia Refractories
- Oxide (Alumina) Refractories)
- Ceramic Fibres

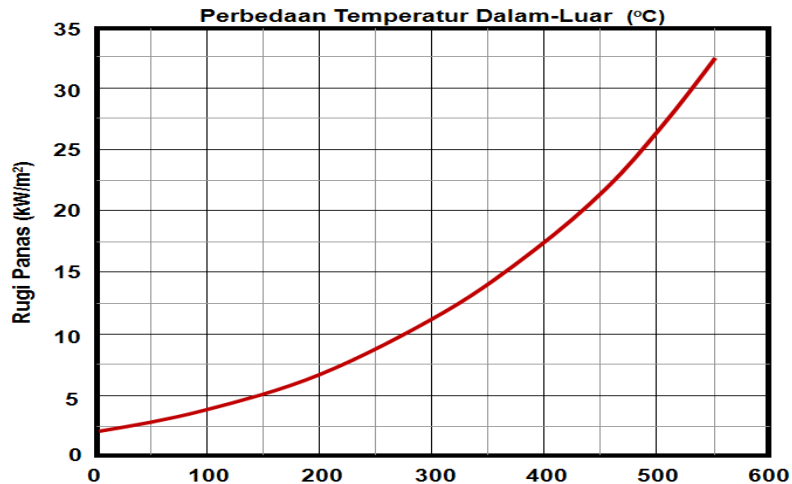
#### Tipe Material untuk Isolasi Panas

- *Material isolasi panas temperatur rendah 600-800°C*  
**Contoh :**Asbestos, Magnesia & calcium silicate, Slag & glass wool
- **Material isolasi panas untuk temperatur tinggi**
  - *Digunakan lebih dari 1800°C*
  - *Digunakan sebagai isolasi Hotface.*
- Contoh :**
  - Refractory insulating material, Insulating Castables, Ceramic Fibre



## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### Rugi Energi Radiasi & Konveksi pada Permukaan Datar



## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### CERAMIC FIBER

Kelebihan :

1. Memungkinkan furnace berdinding tipis dan ringan dan digunakan sebagai Primary refractory lining material
2. Dipasang cepat dengan cara lembaran/modular untuk mengganti refractory konvensional dan monolithic products
3. Penghematan Energi (10 – 50%)
4. Meningkatkan produktifitas furnace
5. Menurunkan waktu batch
6. Biaya pemeliharaan rendah
7. Memperpanjang usia pelayanan

Kerugian :

1. Yang tersedia dipasaran hanya sampai 1250°C
2. Tidak tahan terhadap abrasif bahan
3. Gas berkecepatan tinggi dapat menghancurkan serat

### COATING EMISIVITI TINGGI

Keuntungan dengan penggunaan coating emisiviti tinggi :

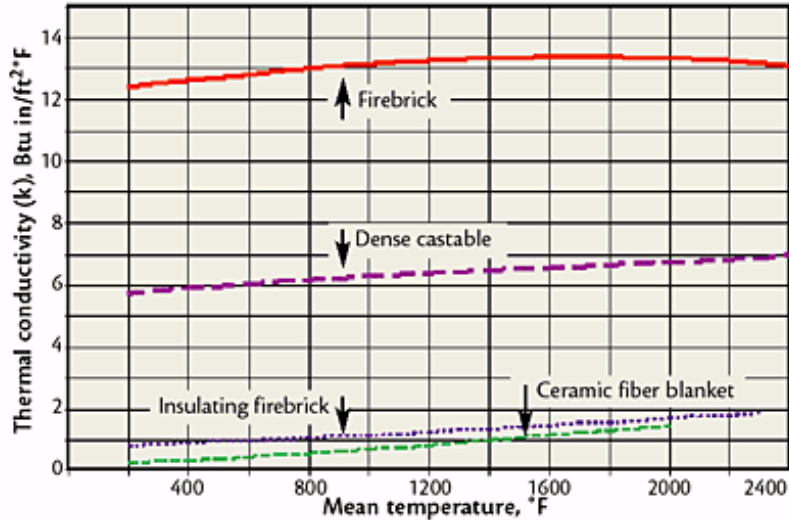
- ✓ Cepat panas
- ✓ Meningkatkan transfer panas pada kondisi sama
- ✓ Meningkatkan pemerataan temperatur
- ✓ Meningkatkan usia bata tahan api
- ✓ Mengurangi debu dari bata tahan api



# UPAYA KONSERVASI ENERGI

## FURNACE

### Thermal conductivity of refractory materials



# UPAYA KONSERVASI ENERGI

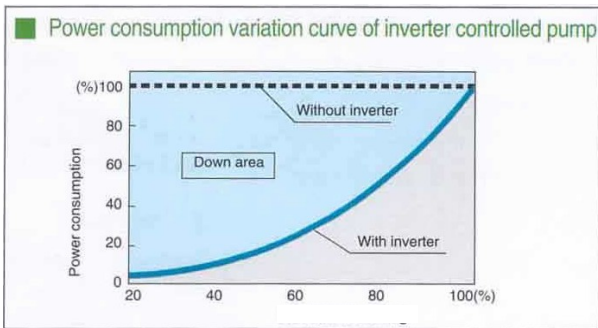
## TEKNOLOGI VSD CONTROL

Pengaruh variasi kecepatan:

- *Hukum affinity* untuk kinerja pompa roto-dinamik adalah:

$Q \propto N$	Q = Flow Rate
$H \propto N^2$	N = Rotating Speed
$P \propto N^3$	H = Head
	P = Power

- Kelipatan kecepatan pompa sentrifugal akan meningkatkan 8 kali konsumsi daya

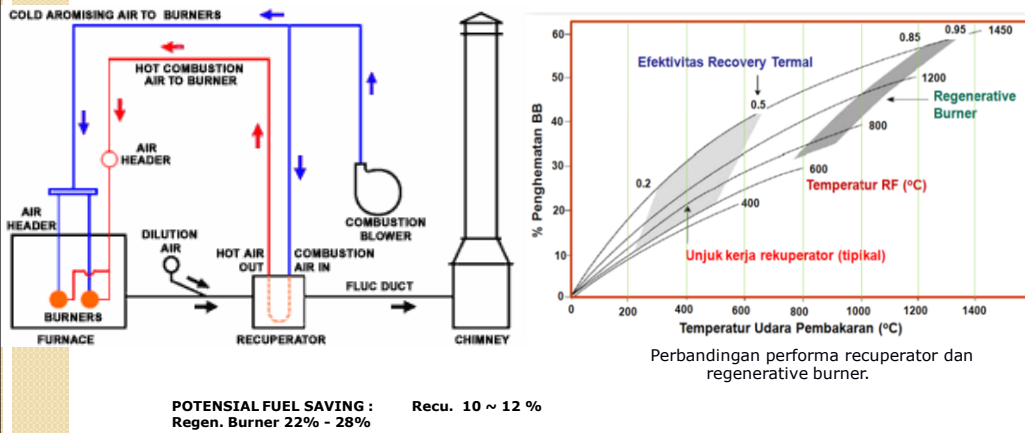




## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### WHR DENGAN RECUPERATOR

Efisiensi dari sebuah *furnace* dapat ditingkatkan melalui pemanfaatan gas buang untuk memanaskan udara pembakaran. Heat exchanger yang digunakan untuk menukarkan panas dari gas buang ke udara pembakaran dikenal dengan nama recuperator.



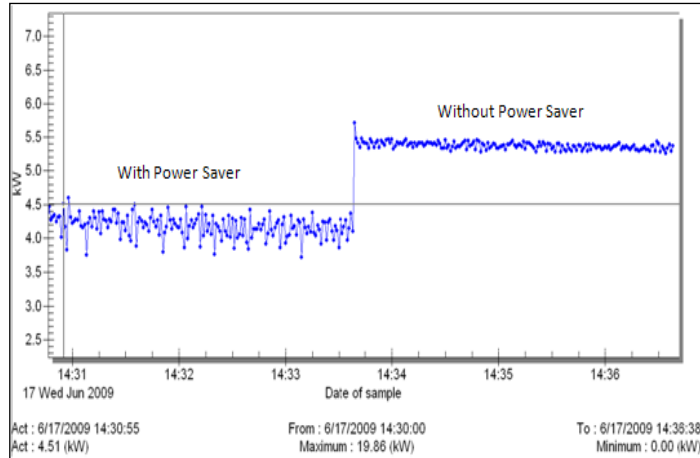
## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### VARIBALE VOLTAGE REGULATOR

Peralatan yang dapat menaikkan efisiensi operasi motor (berfungsi sebagai soft starter, perbaikan faktor daya dan pengaturan konsumsi daya listrik berdasarkan kebutuhan Torsi). Secara spesifik peralatan ini dapat berfungsi untuk:

1. Mengatur jumlah power hanya sesuai dengan yang dibutuhkan oleh suatu motor berdasarkan bebannya melalui kontrol tegangan dengan mikro kontroler dengan kecepatan respon hingga 1/100 detik.
2. Proses Start & Stop motor akan lebih halus bila dibandingkan dengan instalasi motor yang hanya menggunakan Direct on line dan star-delta. Efeknya adalah tiadanya hentakan saat starting dan proses stop yang tiba-tiba sehingga komponen mekanikal motor akan lebih tahan lama
3. Phase Protector; Bila terjadi hilangnya salah satu phase power listrik, maka peralatan ini akan bekerja secara otomatis untuk memutuskan aliran listrik ke motor agar motor tidak terbakar akibat overload/over current.

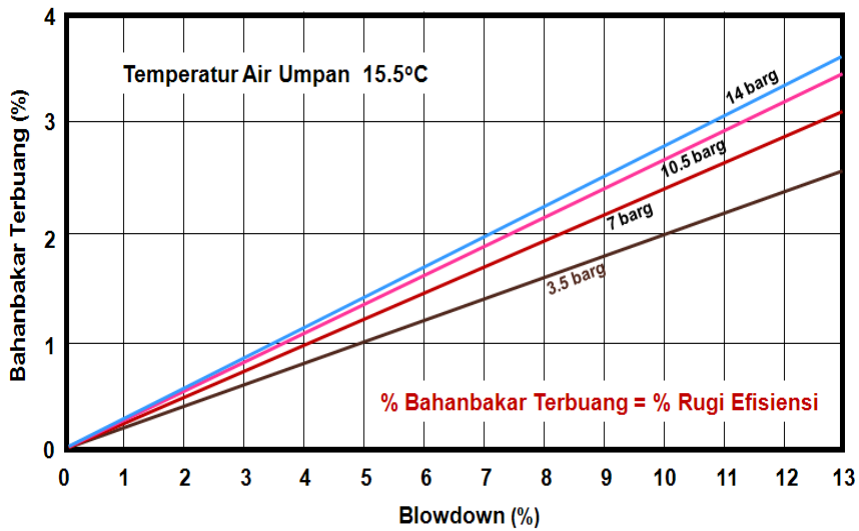
### VARIBALE VOLTAGE REGULATOR BENEFIT



PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

### UPAYA KONSERVASI ENERGI

#### Efek Laju Air *Blowdown* (Boiler) Terhadap Pemborosan Bahan Bakar





PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### BOILER

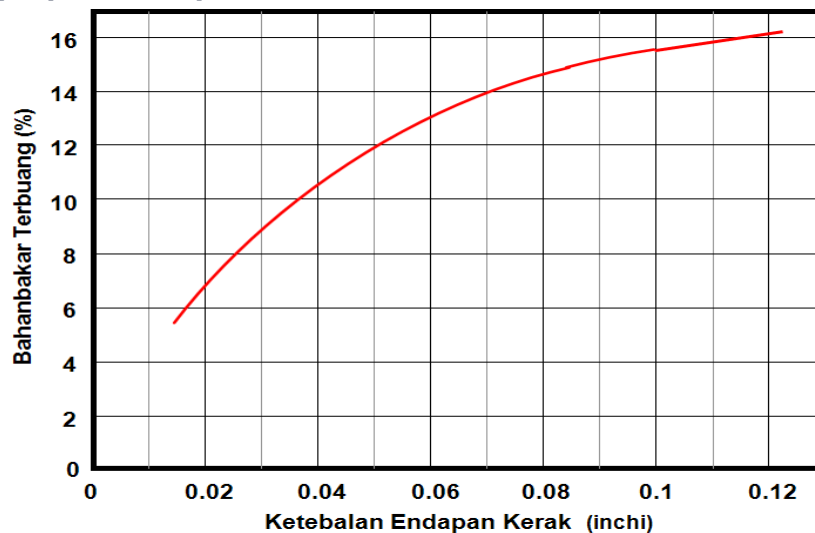
1. Penurunan *Excess Air* & Temperatur *Flue Gas*
2. Pemanfaatan Panas Buang :
  - Flue Gas Heat Recovery :
    - Feed water preheating
    - Air preheating
      - Air preheater
      - Recuperator
  - Blowdown Heat Recovery
  - Condensate Heat Recovery
3. Aplikasi Teknologi Autocontrol (Lokal) dan *Variable Speed Drive*
  - Boiler Feed Water Pump (*Variable Speed Drive*)
  - Blower (*Primary & Secondary Air*) (*Variable Speed Drive*)
4. Perbaikan Isolasi & Reguler Maintenance
5. Load Management
6. Mengganti Boiler Tua dan Teknologi Lama



PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### Pembersihan & perawatan material perpindahan panas

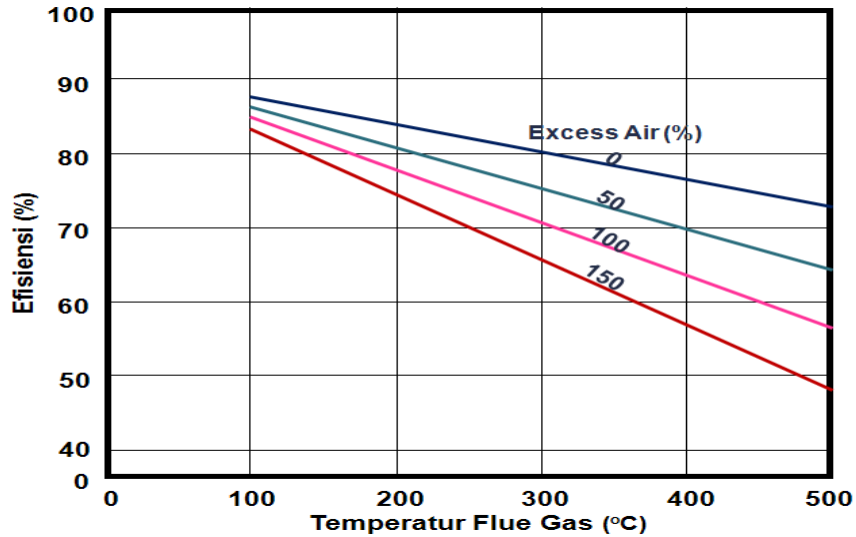




PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

## UPAYA KONSERVASI ENERGI

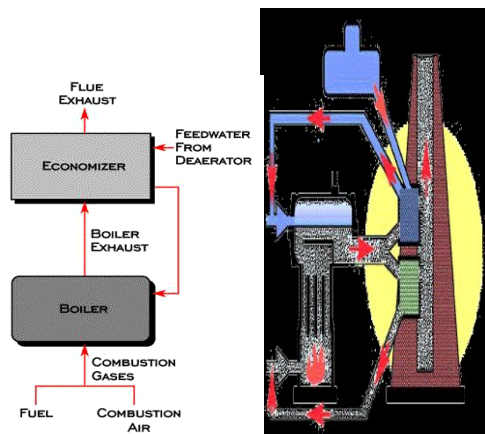
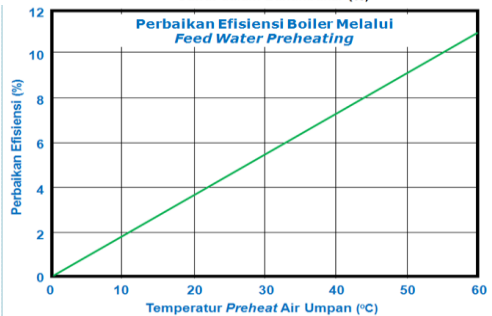
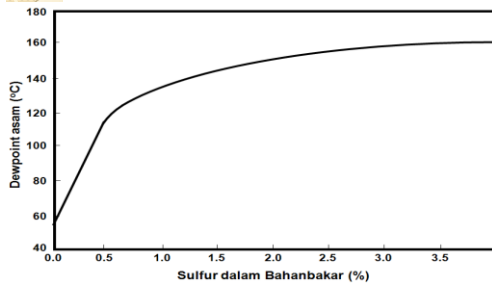
### Perbaikan Efisiensi Melalui Penurunan *Excess Air* & Temperatur *Flue Gas*



PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### Flue Gas Heat Recovery (*Feed Water Preheating*)

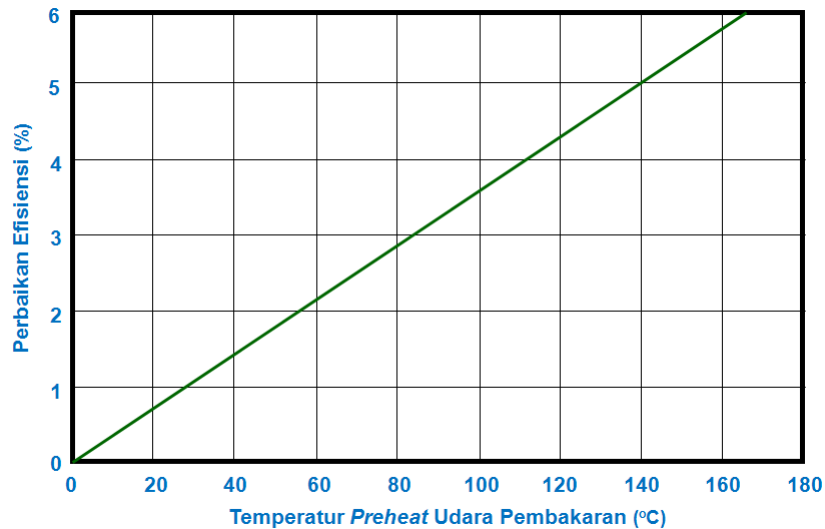




PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### Perbaikan Efisiensi Boiler Melalui Pemanasan Awal Udara Pembakaran dengan *Air Preheater*



PT. TIGAPENA SIGMA ENERGY

## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### Pengaturan Air *Blowdown*

> Proses penguapan air dalam boiler menimbulkan endapan padat  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CaCO}_4$ . Endapan padat tersebut harus dihindari agar tidak menyumbat pipa-pipa boiler.

> Jumlah endapan dapat dikurangi dengan membuang keluar (*blowdown*) bersama air, namun blowdown harus diatur sesuai ukuran, sebab apabila berlebihan dapat eningkatkan jumlah kehilangan energi.

#### PETUNJUK TDS

Tekanan pada outlet boiler		Total padatan	Total Alkalinitas	Endapan padat
psig	bar	ppm	ppm	ppm
0 - 300	0 - 20	3,500	700	300
301 - 450	21 - 30	3,000	600	250
451 - 600	31 - 40	2,500	500	150
601 - 750	41 - 50	2,000	400	100
751 - 900	51 - 60	1,500	300	60
901 - 1000	61 - 67	1,250	250	40
1001 - 1500	68 - 100	1,000	200	20
1501 - 2000	101 - 133	750	150	10
$\geq 2001$	$\geq 134$	500	100	5

$$\% \text{ Blowdown} = \frac{S_f}{S_b - S_f} \times 100\%$$

$S_f$  = TDS dalam air umpan (ppm) atau mg/l

$S_b$  = TDS max. dalam air boiler (ppm) atau mg/l



## UPAYA KONSERVASI ENERGI

### Pengaturan Air *Blowdown*

#### Recommended boiler water limits

Factor	Upto 20 ata	21 – 40 ata	41 – 60 ata
TDS	3000 – 3500	1500 – 2000	500 – 750
Total iron dissolved solids ppm	500	200	150
Specific electrical Conductivity at 25°C(mho)	1000	400	300
Phosphate residual ppm	20 – 40	20 – 40	15 – 25
pH at 25 °C	10 – 10.5	10 – 10.5	9.8 – 10.2
Silica (max) ppm	25	15	10



## MONITORING & CONTROL

Untuk mendapatkan kondisi data aktual saat ini maupun dan historis dari berbagai parameter sistem selanjutnya menjadi bahan dalam pengaturan/control sistem serta evaluasi unjuk kerja.

#### METERING

- Flow meter
- Power/electrical meter
- Temperatur meter
- Pressure meter
- Vibration meter
- Ultrasonic Leak Detector
- Etc

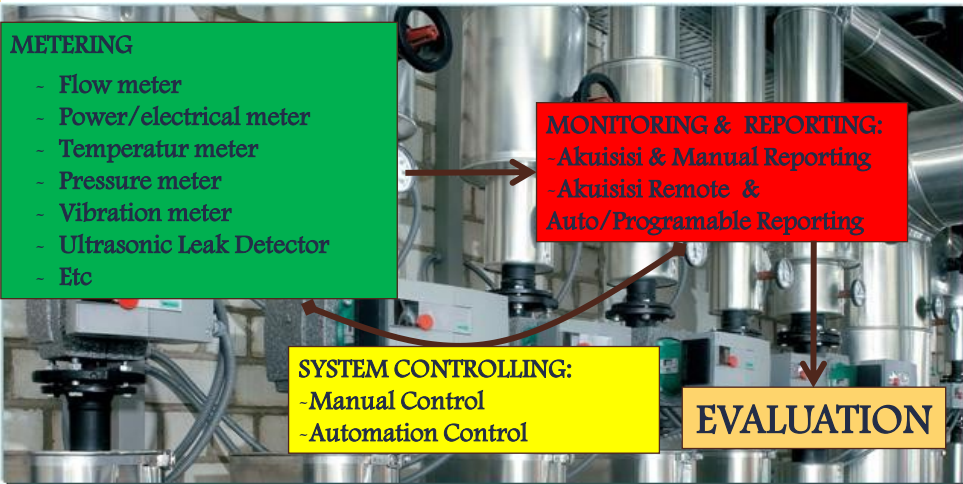
#### MONITORING & REPORTING:

- Akuisisi & Manual Reporting
- Akuisisi Remote & Auto/Programable Reporting

#### SYSTEM CONTROLLING:

- Manual Control
- Automation Control

#### EVALUATION





**TERIMA KASIH**

## REFERENCES

1. **A. Thumann and W. J. Younger.** *Handbook of Energi Audits*, 7<sup>th</sup> ed., The Fairmont Press, Inc., Lilburn, USA, 2007.
2. **T. Amstrong et al.** *Energy Audit Manual New Zealand*, Energy Efficiency and Conservation Authority, Wellington, 2007.
3. **S. A. Parker and W. D. Hunt.** Strategic Energi Management Plan for Fort Buchanan, Puerto Rico, U. S. Dept. Of Energy, October 2001.
4. **A. P. Rossiter and B. P. Jones.** *Energy Management and Efficiency for the Process Industries*, American Institute of Chemical Engineers and John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2015.
5. **Badan Pengkajian Industri Hijau dan Lingkungan Hidup, Kementerian Perindustrian RI.** *Pedoman Teknis Audit Energi dalam Implementasi Konservasi Energi dan Pengurangan Emisi CO<sub>2</sub> di Sektor Industri (Fase 1)*, Jakarta, 2011.
6. **Departemen Penelitian dan Pengaturan Perbankan, Otoritas Jasa Keuangan (OJK).** *Buku Pedoman Pembiayaan Efisiensi Energi di Industri untuk Lembaga Jasa Keuangan*, OJK, Jakarta, 2015.
7. **Awaludin, W. Panuntun, W.S. Alam, N. Sinaga.** *Pemilihan Mesin Penggerak Generator Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG)*, Seminar Nasional Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia FT Undip, 2003.
8. **Sinaga, Nazaruddin, R. Ismail, R. Perangin-angin dan O. A. Wicaksono.** *Pembangkitan Listrik Menggunakan Bahan Bakar Biogas dari Hasil Fermentasi Kotoran Ternak*, Seminar Nasional Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia FT Undip, 2003.
9. **Sinaga, Nazaruddin, A. Suwono, Sularso, and P. Sutikno.** *Simulation of Fin Arrangement Effect on Performance of Staggered Circular Finned-Tube Heat Exchanger*, Proceeding, International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Bali, 2003
10. **Sinaga, Nazaruddin, A. Suwono, Sularso, and P. Sutikno.** *Kaji Numerik dan Eksperimental Pembentukan Horseshoe Vortex pada Pipa Bersirip Anular*, Prosiding, Seminar Nasional Teknik Mesin II, Universitas Andalas, Padang, Desember 2003
11. **Sinaga, Nazaruddin, A. Suwono dan Sularso.** *Pengamatan Visual Pembentukan Horseshoe Vortex pada Susunan Gormetri Pipa Bersirip*

- Anular*, Prosiding, Seminar Nasional Teknik Mesin II, Universitas Andalas, Padang, Desember 2003.
12. **Sinaga, Nazaruddin.** *Perancangan Mixer Biogas-Udara Untuk Mesin Diesel Dual Fuel Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*, Majalah Teknik, Tahun ke XXV, Edisi I, 2005.
  13. **Sinaga, Nazaruddin.** *Analisa dan Pemilihan Mesin Untuk Mesin Dual Fuel Campuran Biogas-Solar*, Majalah Rotasi, Jurusan Teknik Mesin FT Undip, Vol. 7 No. 2, April, 2005.
  14. **Sinaga, Nazaruddin.** *Perancangan Conversion Kit Untuk Modifikasi Mesin Diesel Dual Fuel Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*, Jurnal Ilmiah Nasional Efisiensi dan Konservasi Energi, Jurusan Teknik Mesin, FT Undip, Vol. 1 No. 1, September, 2005.
  15. **Sinaga, Nazaruddin.** *Peluang dan Strategi Penghematan Energi Sektor Transportasi di Indonesia*, Prosiding, Seminar Nasional Efisiensi dan Konservasi Energi (FISERGI) 2005, Jurusan Teknik Mesin FT Undip, ISSN 1907-0063, Desember, 2005.
  16. **Sinaga, Nazaruddin.** *Pengaruh Parameter Geometri dan Konfigurasi Berkas Pipa Bersirip Anular Terhadap Posisi Separasi di Permukaan Sirip*, Jurnal Ilmiah Poros, Jurusan Teknik Mesin FT Universitas Tarumanegara, Vol. 9 No. 1, Januari, 2006.
  17. **Sinaga, Nazaruddin.** *Energy Efficiency As Research and Business Opportunity*, Proceeding, International Workshop on Improvement of UNDIP Research Ability and Networking to Stimulate Sustainable Energy, Grand Candi Hotel, Semarang, October 2009.
  18. **Cahyono, Sukmaji Indro, Gwang-Hwan Choe, and Nazaruddin Sinaga.** *Numerical Analysis Dynamometer (Water Brake) Using Computational Fluid Dynamic Software*. Proceedings of the Korean Solar Energy Society Conference, 2009.
  19. **Sinaga, Nazaruddin.** *Energy Efficiency On Boiler And Pump Systems*, Technical Papers, International Workshop on Energy Audit Diponegoro University, Casindo Project, Semarang, August 2010 .
  20. **Sinaga, Nazaruddin.** *Pengaruh Model Turbulensi Dan Pressure-Velocity Copling Terhadap Hasil Simulasi Aliran Melalui Katup Isap Ruang Bakar Motor Bakar*, Jurnal Rotasi, Volume 12, Nomor 2, ISSN:1411-027X, April 2010.
  21. **I. N. Widiassa, N. Sinaga dan D. Ariyanti.** *Improving Performance Of Low Pressure Reverse Osmosis Systems By Intermittent Autoflushing*, Jurnal Teknik Kimia Indonesia Vol. 9 No. 1, April 2010.

22. **Priangkoso, Tabah dan N. Sinaga.** *Tinjauan Beberapa Model Mekanistik Tingkat Konsumsi Bahan Bakar Untuk Diterapkan Pada Program Simulator Mengemudi Hemat Energi Smart Driving*, Prosiding, Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang, Juni 2011.
23. **Mrihardjono, Juli dan N. Sinaga.** *Pengujian Model Driving Cycle Kendaraan Honda City Berbahan Bakar Premium*, Majalah Gema Teknologi, Volume 16, Nomor 3, April - Oktober 2011, ISSN : 0852 0232.
24. **Sinaga, Nazaruddin dan Tabah Priangkoso.** *Tinjauan/Review Model Empirik Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan*, Journal Momentum, Vol. 7, No. 1, April 2011.
25. **Supriyo dan N. Sinaga.** *Perencanaan Daya Pendingin pada Dinamometer Arus Eddy*, Eksergi, Jurnal Teknik Energi POLINES, Volume 7, Nomor 3, ISSN : 0216-8685, September 2011.
26. **Supriyo dan N. Sinaga.** *Perancangan Dinamometer Arus Eddy Kapasitas 250 KW*, Majalah Eksergi, Volume 7, Nomor 3, ISSN : 0216-8685, September 2011.
27. **Sinaga, Nazaruddin.** *Pengujian Teknik Mengemudi Hemat Energi pada Kendaraan Penumpang untuk Mendukung Program Smart Driving di Indonesia*, Prosiding, Seminar Nasional Teknik Mesin X (SNTTM X), Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, November 2011.
28. **Yunianto, Bambang dan N. Sinaga.** *Peningkatan Efisiensi Pembakaran Tungku Kayu Bakar Tradisional Dengan Modifikasi Disain*, Prosiding, Seminar Nasional Teknik Mesin X (SNTTM X), Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, November 2011.
29. **Sinaga, Nazaruddin, T. Priangkoso, D. Widayana dan K. Abdurrohman.** *Kaji Eksperimental Pengaruh Beberapa Parameter Berkendaraan Terhadap Tingkat Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Penumpang Kapasitas Silinder 1500-2000cc*, Prosiding, Seminar Nasional Teknik Mesin X (SNTTM X), Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, November 2011.
30. **Sinaga, Nazaruddin dan B. Prasetyo.** *Kaji Eksperimental Karakteristik Sebuah Dinamometer Sasis Arus Eddy*, Eksergi, Jurnal Teknik Energi POLINES, Volume 8, Nomor 2, Mei 2012, ISSN : 0216-8685.

31. **Sinaga, Nazaruddin dan A. Dewangga.** *Pengujian Dan Pembuatan Buku Petunjuk Operasi Chassis Dinamometer Tipe Water Brake*, Majalah Rotasi, Volume 14, Nomor 3, Juli 2012, ISSN:1411-027X.
32. **Sinaga, Nazaruddin.** *Smart Driving : Menghemat Bahan Bakar, Meningkatkan Kualitas Emisi Dan Menurunkan Resiko Kecelakaan*, Makalah, Seminar Astra – Jurusan Teknik Mesin Undip, Jurusan Teknik Mesin FT UNDIP, November 2012.
33. **Sinaga, Nazaruddin dan Mulyono.** *Kaji Eksperimental Dampak Pemakaian Pertamina Dan Pertamina-Plus Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor*, Prosiding, Seminar Nasional Unit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri Semarang 2013, ISBN : 978-979-3514-66-6, Halaman 168-172.
34. **Sinaga, Nazaruddin, dan M. H. Sonda.** *Pemilihan Kawat Enamel Untuk Pembuatan Selenoid Dinamometer Arus Eddy Dengan Torsi Maksimum 496 Nm*, Eksergi, Jurnal Teknik Energi Vol 9 No.1 Januari 2013.
35. **Sinaga, Nazaruddin dan S. J. Purnomo.** *Hubungan Antara Posisi Throttle, Putaran Mesin dan Posisi Gigi Terhadap Konsumsi Bahan Bakar pada Beberapa Kendaraan Penumpang*, Eksergi, Jurnal Teknik Energi, Vol.9 No. 1, Januari 2013.
36. **Sinaga, Nazaruddin.** *Pelatihan Teknik Mengemudi Smart Driving Untuk Menurunkan Emisi Gas Rumah Kaca Dan Menekan Biaya Transportasi Angkutan Darat*, Prosiding, Seminar Nasional Teknik Mesin XII (SNTTM XII), Fakultas Teknik Universitas Lampung, Oktober 2013.
37. **Sinaga, Nazaruddin, S. J. Purnomo dan A. Dewangga.** *Pengembangan Model Persamaan Konsumsi Bahan Bakar Efisien Untuk Mobil Penumpang Berbahan Bakar Bensin Sistem Injeksi Elektronik (EFI)*, Prosiding, Seminar Nasional Teknik Mesin XII (SNTTM XII), Fakultas Teknik Universitas Lampung, Oktober 2013.
38. **Yunianto, Bambang dan N. Sinaga.** *Pengembangan Disain Tungku Bahan Bakar Kayu Rendah Polusi Dengan Menggunakan Dinding Beton Semen*, Majalah Rotasi, Volume 16, Nomor 1, Januari 2014, ISSN:1411-027X.
39. **Sinaga, Nazaruddin dan Y.N. Rohmat.** *Perbandingan Kinerja Sepeda Motor Berbahan Bakar Lpg Dan Bensin*, Prosiding, Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau, Semarang 21 Mei 2014, Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) Semarang, BPKIMI, Kementrian Perindustrian, Mei 2014.

40. **Syachrullah, L.I, dan N. Sinaga.** *Optimization and Prediction of Motorcycle Injection System Performance with Feed-Forward Back-Propagation Method Artificial Neural Network (ANN)*, Prosiding, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-2, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta, Juni 2014.
41. **Paridawati dan N. Sinaga.** *Penurunan Konsumsi Bahan Bakar Sepeda Motor Sistem Injeksi Menggunakan Metode Optimasi Artificial Neural Network Dengan Algoritma Back-Propagation*, Prosiding, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-2, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta, Juni 2014.
42. **Nazaruddin Sinaga, Abdul Zahri.** *Simulasi Numerik Perhitungan Tegangan Geser Dan Momen Pada Fuel Flowmeter Jenis Positive Displacement Dengan Variasi Debit Aliran Pada Berbagai Sudut Putar Rotor*, Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 2, No. 4, Tahun 2014.
43. **Haryanto, Ismoyo, MSKTS Utomo, N. Sinaga, C. A. Rosalia dan A. P. Putra.** *Optimization Of Maximum Lift To Drag Ratio On Airfoil Design Based On Artificial Neural Network Utilizing Genetic Algorithm*, International Journal on Applied Mechanics and Materials Vol. 493, pp 123-128, 2014.
44. **M. Rifal dan N. Sinaga.** *Impact of Methanol-Gasoline Fuel Blend on The Fuel Consumption and Exhaust Emission of an SI Engine*, Proceeding, The 3<sup>rd</sup> International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2015), Universitas Negeri Semarang, April 2015.
45. **Sinaga, Nazaruddin dan Mulyono.** *Studi Eksperimental Karakteristik Kinerja Sepeda Motor Dengan Variasi Jenis Bahan Bakar Bensin*, Majalah Eksergi, Volume 11, Nomor 1, ISSN:0216-8685, Halaman 1-6 Januari 2015.
46. **Septianto, Fajar, A. Widodo dan N. Sinaga.** *Analisa Penurunan Efisiensi Motor Induksi Akibat Cacat Pada Cage Ball Bantalan*, Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 4, No. 4, Tahun 2015.
47. **Syahrullah, L. I. dan N. Sinaga.** *Optimization and Prediction of Motorcycle Injection System Performance with Feed-Forward Back-Propagation Method Artificial Neural Network (ANN)*, American Journal of Engineering and Applied Sciences, Volume 9, Issue 2, ISSN: 1941-7039, Halaman 222-235, Februari 2016.
48. **Rojak, Amirur dan N. Sinaga.** *Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar LGV Pada Mobil Penumpang 1200 CC Dan 1500 CC Terhadap Kebutuhan Udara Dan Bahan Bakar*, Politeknosains, Volume XV, Nomor 1, ISSN: 1829-6181, Maret 2016.

49. **Fajrin, D. H. dan N. Sinaga.** *Efek Variasi Kandungan Air Terhadap Kerja Gas Engine Cooler Suatu PLTB Limbah Organik Pasar Induk*, Politeknosains, Volume XV, Nomor 1, ISSN: 1829-6181, Maret 2016.
50. **Khudhoibi dan N. Sinaga.** *Pengaruh Engine Remap Terhadap Beberapa Parameter Operasi Mobil Berbahan Bakar LGV*, Jurnal Ilmiah Momentum, Volume 12, Nomor 1, ISSN : 0216-7395, April 2016.
51. **Rifal, Mohamad dan N. Sinaga.** *Impact of Methanol-Gasoline Fuel Blend on The Fuel Consumption and Exhaust Emission of an SI Engine*, AIP Conf. Proc. 1725, 020070-1–020070-6; Published by AIP Publishing, 978-0-7354-1372-6, Maret 2016.
52. **Sinaga, Nazaruddin dan A. S. B. Nasution.** *Simulasi Pengaruh Komposisi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Pome) Terhadap Kandungan Air Biogas dan Daya Listrik yang Dihasilkan Sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*, Eksergi, Jurnal Teknik Energi POLINES, Vol. 12 No. 3, September 2016.
53. **Sinaga, Nazaruddin dan D. Alcita.** *Perbandingan Beberapa Parameter Operasi Mesin Mobil Injeksi Terhadap Penggunaan Bahan Bakar Bensin dan Campuran Metanol-Bensin M15*, Eksergi, Jurnal Teknik Energi POLINES, Vol. 12 No. 3, September 2016.
54. **Fatichuddin, Mochamad dan N. Sinaga.** *Pengaruh Komposisi Air Terhadap Kebutuhan Daya Kompresor Pada Sistem Pembangkit Listrik Biogas Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit*, Jurnal Ilmiah Momentum, Vol. 12 No. 2, Oktober 2016.
55. **Nazaruddin Sinaga.** *Perancangan Awal Converter Kit LPG Sederhana untuk Konversi Mesin Bensin Skala Kecil*, Eksergi, Jurnal Teknik Energi POLINES, Vol. 13, No. 1, Januari 2017.
56. **Nazaruddin Sinaga.** *Kaji Numerik Aliran Jet-Swirling Pada Saluran Annulus Menggunakan Metode Volume Hingga*, Jurnal Rotasi Vol. 19, No. 2, April 2017.
57. **Nazaruddin Sinaga dan M. Rifal.** *Pengaruh Komposisi Bahan Bakar Metanol-Bensin Terhadap Torsi Dan Daya Sebuah Mobil Penumpang Sistem Injeksi Elektronik 1200 CC*, Jurnal Rotasi Vol. 19, No. 3, Juli 2017.
58. **Nazaruddin Sinaga.** *Analisis Aliran Pada Rotor Turbin Angin Sumbu Horisontal Menggunakan Pendekatan Komputasional*, Eksergi, Jurnal Teknik Energi POLINES, Vol. 13, No. 3, September 2017.

59. **Nazaruddin Sinaga.** *Perancangan dan Pembuatan Data Logger Sederhana untuk Dinamometer Sasis Sepeda Motor*, Jurnal Rotasi, Vol. 20, No. 1, Januari 2018.
60. **Mohamad Rifal dan Nazarudin Sinaga.** *Kaji Eksperimental Rasio Metanol-Bensin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar, Emisi Gas Buang, Torsi Dan Daya*, Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering, Vol 1 (1), April 2018, pp. 47-54.
61. **Nazaruddin Sinaga, Maizirwan Mel, Rezeki Pakpahan, Nor Azwadi Che Sidik.** *Influence of Volatile Fatty Acid Concentration on Biogas Production in Synthropic Anaerobic Digestion*, Journal of Advanced Research in Biofuel and Bioenergy, Vol. 1 No. 1, June 2018
62. **Sinaga, N., Nasution, S.B., Mel, M.** *Process Optimization of Biogas Production From Palm Oil Mill Effluent: A Case Study of a Crude Palm Oil Factory in Muaro Jambi, Indonesia*, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, Vol. 49, Issue 2, pp. 155-169 , September 2018, ISSN: 2289-7879
63. **Nurjehan Ezzatul Ahmad, Maizirwan Mel, Nazaruddin Sinaga.** *Design of Liquefaction Process of Biogas Using Aspen HYSYS Simulation*, pp. 10-15, Journal of Advanced Research in Biofuel and Bioenergy, Vol. 2 No.1, September 2018.
64. **Nugroho, A., Sinaga, N., Haryanto, I.** *Performance of a Compression Ignition Engine Four Strokes Four Cylinders on Dual Fuel (Diesel-LPG)*, Proceeding, The 17th International Conference on Ion Sources, Vol. 2014, 2018, 21 September 2018, AIP Publishing.
65. **Nazaruddin Sinaga, P. Paryanto, Susilo A. Widyanto, R. Rusnaldy, Alexander Hetzner, and Jorg Franke.** *An Analysis of the Effect of Gravitational Load on the Energy Consumption of Industrial Robots*, 6th CIRP Global Web Conference, Procedia CIRP 78 (2018), pp. 8 – 12, September 2018.
66. **Syaiful, Sinaga, N., Wulandari, R., Bae, M.W.** *Effect of Perforated Concave Delta Winglet Vortex Generators on Heat Transfer Augmentation of Fluid Flow Inside a Rectangular Channel: An Experimental Study*. International Mechanical and Industrial Engineering Conference 2018 (IMIEC 2018), MATEC Web of Conferences Vol.204 , 2018 , 21-Sep-18 , EDP Sciences 12 , ISSN: 2261-236X
67. **Muchammad, M., Sinaga, N., Yunianto, B., Noorkarim, M.F., Tauviqirrahman, M.** *Optimization of Texture of The Multiple Textured Lubricated Contact with Slip*, International Conference on Computation in Science and Engineering, Journal of Physics: Conf. Series 1090-

012022, 5 November 2018, IOP Publishing, Online ISSN: 1742-6596  
Print ISSN: 1742-6588.

68. **Nazaruddin Sinaga, B. Yunianto, Syaiful, W.H. Mitra Kusuma.** *Effect of Addition of 1,2 Propylene Glycol Composition on Power and Torque of an EFI Passenger Car Fueled with Methanol-Gasoline M15*, Proceeding of International Conference on Advance of Mechanical Engineering Research and Application (ICOMERA 2018), Malang, October 2018.
69. **Nazaruddin Sinaga, Mohammad Tauiviqirrahman, Arif Rahman Hakim, E. Yohana.** *Effect of Texture Depth on the Hydrodynamic Performance of Lubricated Contact Considering Cavitation*, Proceeding of International Conference on Advance of Mechanical Engineering Research and Application (ICOMERA 2018), Malang, October 2018.
70. **Syaiful, N. Sinaga, B. Yunianto, M.S.K.T. Suryo.** *Comparison of Thermal-Hydraulic Performances of Perforated Concave Delta Winglet Vortex Generators Mounted on Heated Plate: Experimental Study and Flow Visualization*, Proceeding of International Conference on Advance of Mechanical Engineering Research and Application (ICOMERA 2018), Malang, October 2018.
71. **Nazaruddin Sinaga, K. Hatta, N. E. Ahmad, M. Mel.** *Effect of Rushton Impeller Speed on Biogas Production in Anaerobic Digestion of Continuous Stirred Bioreactor*, Journal of Advanced Research in Biofuel and Bioenergy, Vol. 3 (1), December 2019, pp. 9-18.
72. **Nazaruddin Sinaga, Syaiful, B. Yunianto, M. Rifal.** *Experimental and Computational Study on Heat Transfer of a 150 KW Air Cooled Eddy Current Dynamometer*, Proc. The 2019 Conference on Fundamental and Applied Science for Advanced Technology (Confast 2019), Yogyakarta, Januari 21, 2019.
73. **Nazaruddin Sinaga.** *CFD Simulation of the Width and Angle of the Rotor Blade on the Air Flow Rate of a 350 kW Air-Cooled Eddy Current Dynamometer*, Proc. The 2019 Conference on Fundamental and Applied Science for Advanced Technology (Confast 2019), Yogyakarta, Januari 21, 2019.
74. **Ahmad Faoji, Syaiful Laila, Nazaruddin Sinaga.** *Consumption and Smoke Emission of Direct Injection Diesel Engine Fueled by Diesel and Jatropha Oil Blends with Cold EGR System*, Proc. The 2019 Conference on Fundamental and Applied Science for Advanced Technology (Confast 2019), Yogyakarta, Januari 21, 2019.
75. **Johan Firmansyah, Syaiful Laila, Nazaruddin Sinaga.** *Effect of Water Content in Methanol on the Performance and Smoke Emissions*

- of Direct Injection Diesel Engines Fueled by Diesel Fuel and Jatropha Oil Blends with EGR System*, Proc. The 2019 Conference on Fundamental and Applied Science for Advanced Technology (Confast 2019), Yogyakarta, Januari 21, 2019.
76. **Syaiful, Anggie Restue, Saputra, Nazaruddin Sinaga.** *2-D Modeling of Interaction between Free-Stream Turbulence and Trailing Edge Vortex*, Proc. The 2019 Conference on Fundamental and Applied Science for Advanced Technology (Confast 2019), Yogyakarta, Januari 21, 2019.
  77. **Anggie Restue, Saputra, Syaiful, and Nazaruddin Sinaga.** *2-D Modeling of Interaction between Free-Stream Turbulence and Trailing Edge Vortex*, Proc. The 2019 Conference on Fundamental and Applied Science for Advanced Technology (Confast 2019), Yogyakarta, January 21, 2019.
  78. **Sinaga, Nazaruddin, M. Mel, D.A Purba, Syaiful, and Paridawati.** *Comparative Study of the Performance and Economic Value of a Small Engine Fueled with B20 and B20-LPG as an Effort to Reduce the Operating Cost of Diesel Engines in Remote Areas*, Joint Conference of 6th Annual Conference on Industrial and System Engineering (6th International Conference of Risk Management as an Interdisciplinary Approach (1<sup>st</sup> ICRMIA) 2019 on April 23-24, 2019 in Semarang, Central Java, Indonesia.
  79. **Sinaga, Nazaruddin, B. Yuniyanto, D.A Purba, Syaiful and A. Nugroho.** *Design and Manufacture of a Low-Cost Data Acquisition Based Measurement System for Dual Fuel Engine Researches*, Joint Conference of 6th Annual Conference on Industrial and System Engineering (6th International Conference of Risk Management as an Interdisciplinary Approach (1<sup>st</sup> ICRMIA) 2019 on April 23-24, 2019 in Semarang, Central Java, Indonesia.
  80. **Y Prayogi, Syaiful, and N Sinaga.** *Performance and Exhaust Gas Emission of Gasoline Engine Fueled by Gasoline, Acetone and Wet Methanol Blends*, International Conference on Technology and Vocational Teacher (ICTVT-2018), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 535 (2019) 012013 doi:10.1088/1757-899X/535/1/012013.
  81. **E. Yohana, B. Farizki, N. Sinaga, M. E. Julianto, I. Hartati.** *Analisis Pengaruh Temperatur dan Laju Aliran Massa Cooling Water Terhadap Efektivitas Kondensor di PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng*, Journal of Rotasi, Vol. 21 No. 3, 155-159.

82. **B. Yunianto, F. B. Hasugia, B. F. T. Kiono, N. Sinaga.** *Performance Test of Indirect Evaporative Cooler by Primary Air Flow Rate Variations*, Prosiding SNTTM XVIII, 9-10 Oktober 2019, 1-7.