

**PENERAPAN ILMU FISIKA DALAM PEMBUATAN PRODUK BERBAHAN**

***DASAR STAINLESS STEEL***

**PT CATERLINDO - SIMPLY STAINLESS INDONESIA**

**Laporan Studi Ekskursi**



**Disusun Oleh:**

**Kelompok Fisika XI MIPA 5**

**Program Studi Ilmu Pengetahuan Alam Kelas XI**

**SMA Katolik St. Louis 1**

**Surabaya**

**2022**

# **PENERAPAN ILMU FISIKA DALAM PEMBUATAN PRODUK BERBAHAN**

## ***DASAR STAINLESS STEEL***

### **PT CATERLINDO - SIMPLY STAINLESS INDONESIA**

Laporan Studi Ekskursi sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh

Nilai Kognitif dan Psikomotor Mata Pelajaran Fisika dan Bahasa

Indonesia Kelas XI SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya



**Disusun Oleh:**

**Kelompok Fisika XI MIPA 5**

**Program Studi Ilmu Pengetahuan Alam Kelas XI**

**SMA Katolik St. Louis 1**

**Surabaya**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

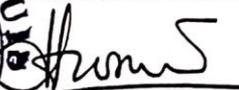
Laporan studi ekskursi yang berjudul “Penerapan Ilmu Fisika dalam Pembuatan Produk Berbahan Dasar *Stainless Steel* PT Caterlindo - Simply Stainless Indonesia” yang disusun oleh :

A. A. Maximillian T. (03)  
Brian Juniarta D. (06)  
Bryan Nicholas W. (07)  
Calvin Sentosa (08)  
Catherine Clara G. (09)  
Michelle Aurelia W. (27)  
Michelle Cindy P. (28)  
Richard Edgar G. (34)  
Sandrine Aelysiano H. (36)

Telah disetujui oleh: 26 Maret 2022

Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Agnes Prasanna M. S. P., S. Pd.		28 Maret 2022
MG. Ika Yuliasuti, S. Pd.		28 Maret 2022
Anindito Marcellus Gregorius Osok, S.Pd.		26 Maret 2022

Mengetahui,

 SMA Katolik St. Louis I Surabaya  
Kepala Sekolah  
  
Ira. Sri Wahjoeni Hadi, S.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul “Penerapan Fisika dalam Pembuatan Produk Berbahan Dasar *Stainless Steel* PT Caterlindo - Simply Stainless Indonesia”.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberi dukungan sehingga laporan ini dapat selesai dengan baik. Ucapan terima kasih ini penulis tujukan kepada:

1. Ibu M.G. Ika Yuliasuti, S. Pd., selaku guru Bahasa Indonesia yang telah membimbing penulis dalam proses pengerjaan laporan penelitian ini.
2. Ibu Agnes Prasanna Murti Sri Pamungkas, S. Pd., atas kesempatan dan bantuan yang diberikan dalam proses pengerjaan laporan penelitian ini.
3. PT. Caterlindo - *Simply Stainless* Indonesia atas kesempatan dan bantuan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tepat pada waktunya.

Walaupun telah berusaha menyelesaikan laporan penelitian ini sebaik mungkin, penulis menyadari bahwa laporan ini masih ada kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi kesempurnaan laporan penelitian ini.

Akhir kata, penulis berharap laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, serta dapat dikembangkan lebih lanjut.

Surabaya, 16 Februari 2022

## ABSTRACT

Darmadi, B. J., Gonasis, R. E., Gunawan, C. C., Hermanto, S. A., Pranoto, M. C., Sentosa, C., Tjandra, A. A. M., Wijaya, B. N., Wijaya, M. A. (2022). *Penerapan Fisika dalam Pembuatan Produk Berbahan Dasar Stainless Steel PT Caterlindo - Simply Stainless Indonesia*.

Stainless steel is one of the most common materials used in making house furniture such as tables, chairs, cupboards, etc. The process from making slabs of stainless steel to products uses machines that apply physics concepts. There are laser machines that apply the concept of the kinetic theory of gasses, welding machines that apply heat, and bending machines that apply the concept of pressure. The aim of this research is to answer three research questions; (1) What is the application of the kinetic theory of gasses to laser machines that are used to cut stainless steel? (2) What is the impact of heat and heat transfer processes on the welding machines that are used to assemble stainless steel? (3) How does pressure affect the bending process? In order to collect needed data, literature review, observation, and interview are used to collect the data. Furthermore, descriptive and inferential data analysis techniques are used to analyze the collected data. Based on the results of the research, there are three steps in making stainless steel products, including cutting, assembly, and bending. All the processes apply physics concepts. In the cutting process, the concept of the kinetic theory of gasses is used in laser machines that use nitrogen. The nitrogen is set into a certain amount of pressure so the machine produces a high temperature which is needed in the cutting process. In the assembly process, electricity is converted into heat which is powering welding machines. The heat transport throughout cables is carried out through the process of conduction. The heat then forwarded to machines' parts. In the bending process, the concept of pressure is used in bending machines as the bending machine produces pressure through the force applied to the cylinder that is used to form stainless steel as needed. In conclusion, stainless steel products are made with three steps: cutting, assembly, and bending. All of them apply physics concepts, such as the kinetic theory of gasses, heat, and pressure.

**Keywords:** stainless steel, the kinetic theory of gasses, heats, pressure

## DAFTAR ISI

COVER

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN..... i

KATA PENGANTAR..... ii

ABSTRACT ..... iii

DAFTAR ISI ..... iv

DAFTAR GAMBAR..... vi

BAB I PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG ..... 1

B. RUMUSAH MASALAH..... 2

C. TUJUAN ..... 3

D. MANFAAT PENELITIAN..... 3

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN ..... 4

B. STAINLESS STEEL..... 6

C. TEORI KINETIK GAS..... 7

D. KALOR ..... 10

E. TEKANAN ..... 14

### BAB III METODE PENELITIAN

A. WAKTU PENELITIAN.....	15
B. METODE PENGAMBILAN DATA .....	15
C. TEKNIK ANALISIS DATA.....	15
D. LANGKAH-LANGKAH OBSERVASI .....	16

### BAB IV HASIL PENGAMATAN

A. PENERAPAN TEORI KINETIK GAS.....	17
B. PERPINDAHAN KALOR.....	24
C. PENERAPAN TEKANAN .....	27

### BAB V PENUTUP

A. KESIMPULAN.....	28
B. SARAN .....	29

REFERENCES .....	30
------------------	----

LAMPIRAN .....	32
----------------	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.a Struktur Organisasi .....	5
Gambar 4.a Mesin Laser.....	17
Gambar 4.b Tabung Gas Argon dan Nitrogen .....	19
Gambar 4.c Proses <i>laser cutting</i> .....	22
Gambar 4.d Hasil <i>laser cutting</i> .....	22
Gambar 4.e Hasil <i>etching</i> dengan <i>laser cutting</i> .....	22
Gambar 4.f Perbandingan <i>nozzle</i> bersih (kiri) dan kotor (kanan).....	23
Gambar 4.g Perbandingan plat besi.....	23
Gambar 4.h Mesin ampere dan tabung gas argon .....	25
Gambar 4.i Hasil pengelasan sebelum proses <i>finishing</i> .....	26
Gambar 4.j Hasil pengelasan.....	26
Gambar 4.k Mesin <i>bending</i> .....	27
Gambar 4.l Mesin <i>bending</i> .....	27

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

*Stainless steel* atau baja nirkarat merupakan bahan yang terdiri atas campuran logam dan kromium yang berperan mencegah terjadinya perkaratan (Peckner, D.& Bernstein, I.M., 1977). Jenis baja ini memiliki banyak fungsi dan hasil produksinya bervariasi tergantung bidangnya. Di bidang konstruksi, *stainless steel* memiliki sifat kuat dan fleksibel, sedangkan di bidang medis, *stainless steel* digunakan dalam konstruksi instrumen bedah karena mudah untuk disterilisasi dan tahan korosi. Baja ini sering ditemukan di kehidupan sehari-hari, seperti pada pisau, kompor, lemari es, dan peralatan makanan.

Sebelum menjadi sebuah produk, *stainless steel* harus diolah terlebih dahulu. Proses pengolahan yang pertama adalah proses pemotongan *stainless steel* yang pada umumnya menggunakan mesin laser. Mesin laser merupakan mesin penghasil panas yang kemudian akan digunakan untuk memotong *stainless steel*. Panas yang dihasilkan mesin laser berasal dari gas dengan konsentrasi dan tekanan tertentu. Dilihat dari ilmu fisika, salah satu konsep yang membahas tekanan suatu gas adalah konsep teori kinetik gas. Teori kinetik gas adalah teori yang menjelaskan sifat-sifat gas seperti tekanan, suhu, dan volume (Clausius, R., 1857). Penggunaan gas dengan tekanan dan konsentrasi yang tepat untuk menghasilkan suhu yang tepat sangat penting dalam pemotongan *stainless steel*. Bila suhu yang dihasilkan kurang, *stainless steel* tidak dapat terpotong sempurna. Sebaliknya, suhu yang berlebihan dapat membuat *stainless steel* rusak atau mengalami kecacatan.

Setelah dipotong, *stainless steel* akan dirangkai melalui proses pengelasan. Proses ini menggunakan mesin las yang mendapatkan tenaga dari panas. Dalam ilmu fisika, panas yang dialirkan suatu benda disebut kalor. Kalor merupakan suatu kuantitas panas, baik yang diserap maupun dilepaskan oleh suatu benda (Antoine Laurent Lavoisier, 1974). Kalor ini bisa dialirkan melalui proses konduksi, penyinaran, atau aliran.

Setelah dirangkai, *stainless steel* perlu dibentuk dengan cara dibengkokkan yang disebut *bending*. Proses *bending* menggunakan mesin *bending* yang menggunakan konsep tekanan. Tekanan adalah besarnya gaya yang bekerja tiap satuan luas permukaan atau bidang tekan. Mesin *bending* mampu menghasilkan tekanan dalam jumlah tertentu untuk membengkokkan *stainless steel*.

Proses pengolahan *stainless steel* menggunakan mesin-mesin yang menerapkan berbagai konsep fisika. Salah satu perusahaan yang memproduksi produk berbahan dasar *stainless steel* adalah PT Caterlindo Simply Stainless Indonesia. Oleh karena itu, penerapan fisika pada mesin-mesin yang digunakan PT Caterlindo Simply Stainless Indonesia diamati melalui penelitian ini. Ilmu fisika yang diterapkan mesin-mesin tersebut diteliti dan dinilai pengaruhnya dalam pembuatan *stainless steel*.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah yang menjadi fokus penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penerapan teori kinetik gas pada mesin laser yang berperan memotong *stainless steel*?
2. Bagaimana pengaruh kalor dan proses perpindahan kalor pada mesin las yang berperan merangkai *stainless steel*?

3. Bagaimana pengaruh besar tekanan pada proses *bending*?

### **C. Tujuan**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan penerapan teori kinetik gas pada mesin laser yang berperan memotong *stainless steel*.
2. Mendeskripsikan pengaruh kalor dan proses perpindahan kalor pada mesin las yang berperan merangkai *stainless steel*.
3. Mendeskripsikan pengaruh besar tekanan pada proses *bending*.

### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini sebagai berikut.

1. Pembaca mendapat wawasan tentang penerapan teori kinetik gas pada mesin laser yang berperan memotong *stainless steel*.
2. Pembaca memahami pengaruh kalor dan proses perpindahan kalor pada mesin las yang berperan merangkai *stainless steel*.
3. Pembaca memahami pengaruh besar tekanan pada proses *bending*.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Gambaran Umum Perusahaan**

Berikut adalah gambaran umum PT Caterlindo - Simply Stainless Indonesia.

##### 1. Sejarah

PT Caterlindo yang berdiri pada tahun 1997 terletak di Jalan Industri Trosobo No.18 (Raya Surabaya - Mojokerto KM. 24), kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo dengan status perusahaan penanam modal asing (PMA) yang merupakan *join venture* dengan CI. Group, Perth - Australia. PT Caterlindo bergerak di bidang manufaktur perlengkapan dapur yang terbuat dari *stainless steel* seperti meja, rak, wastafel, *trolley*, dan lain sebagainya.

Fokus penjualan PT Caterlindo pada awalnya adalah ekspor ke Australia, Amerika, Inggris, Papua Nugini, New Zealand, Thailand, dan beberapa negara lainnya. Akan tetapi sejak tahun 2012, PT Caterlindo mengembangkan area penjualannya untuk memenuhi permintaan dalam negeri. Hal ini disebabkan adanya perkembangan ekonomi dan bisnis dalam negeri. PT Caterlindo berkomitmen untuk mengimplementasikan 5R (Ringkas, Rapi, Resik, Rawat, Rajin) dalam setiap proses produksi dan fokus pada kepuasan pelanggan dengan menerapkan ISO 9001:2015.

##### 2. Visi dan Misi

###### a. Visi

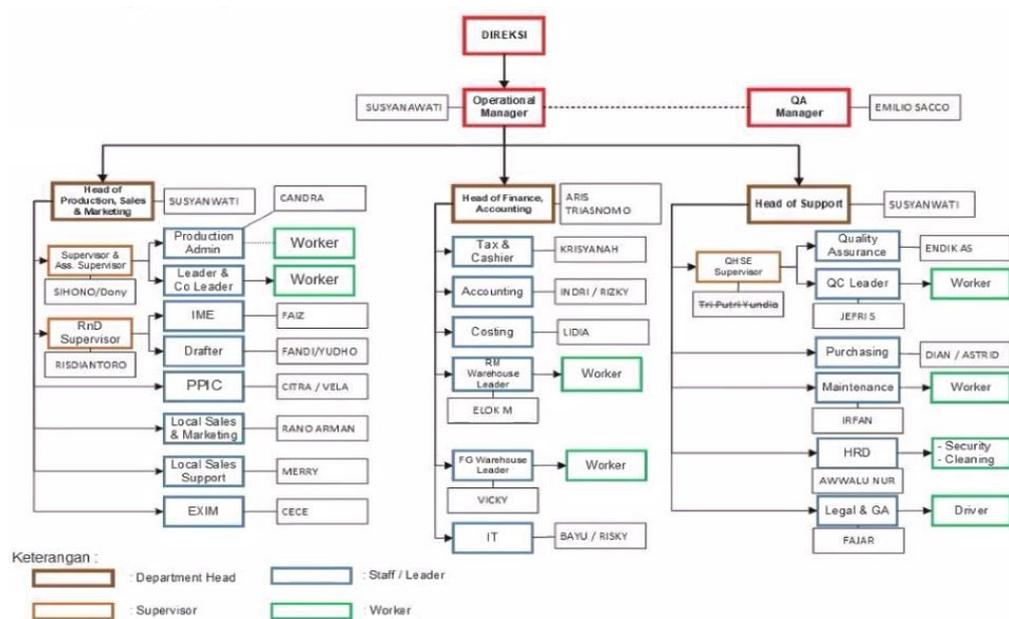
- 1) Kami adalah keluarga.
- 2) Kami peduli.

- 3) Kami berkomunikasi.
- 4) Kami membuat pekerjaan menyenangkan dan produktif.
- 5) Kami hidup dan bekerja dengan menjunjung nilai keutamaan kami yaitu, kepercayaan, rasa hormat, integritas, loyalitas, *High Quality, Availability, dan Value.*
- 6) Ini adalah budaya kami.

b. Misi

- 1) Menjadi perusahaan yang terbaik di dunia dalam pembuatan modular sistem *stainless steel.*
- 2) Mengembangkan sumber daya manusia yang tangguh dan termotivasi untuk selalu melakukan perbaikan.
- 3) Menciptakan lingkungan kerja yang kondusif untuk memaksimalkan produktivitas kerja.

3. Struktur Organisasi



Gambar 2.a Struktur organisasi

## B. Stainless Steel

*Stainless steel* adalah campuran antara besi dan karbon seperti semua jenis baja lainnya. Faktor pembeda utama *stainless steel* ada di penambahan kromium (Cr) dan elemen lainnya seperti nikel (Ni). Jenis-jenis *stainless steel* antara lain:

### 1. *Stainless Steel* Feritik

*Stainless steel* feritik bersifat fleksibel dan tidak magnetik. Jenis ini berkomposisi kromium (10.5% - 29%), molybdenum, aluminum, titanium dan sedikit nikel. Jenis baja feritik lainnya juga memiliki harga yang relatif murah. Namun pada suhu tinggi, resistansi akan menurun secara signifikan sehingga ketangguhan *stainless steel* feritik hanya efektif pada suhu rendah.

### 2. *Stainless Steel* Martensitik

*Stainless steel* ini mengandung kromium 10,5% - 18% dan karbon yang bisa mencapai 1,2%. Setelah pemanasan, struktur martensit terbentuk karena adanya kadar krom dan karbon yang tinggi tersebut. Sifat martensit ini sebagian besar mengandung kromium, nikel, dan karbon, sedangkan bahan lainnya termasuk molybdenum, niobium, silikon, tungsten, vanadium, dan lain-lain. Kelemahan dari jenis *stainless steel* ini adalah kurang dalam mencegah terjadinya korosi, tetapi memiliki kelebihan sifat kuat dan tangguh. Hal ini yang menyebabkan *stainless steel* martensitik menjadi bahan pembuatan sendok-garpu, instrumen bedah, kunci pas, dan turbin.

### 3. *Stainless Steel* Austenitik

*Stainless steel* austenitik dibentuk oleh kromium 16%, nikel 7%, dan nitrogen. Jenis baja ini bersifat kuat, tahan terhadap suhu panas ataupun dingin, dapat melawan korosi dengan efektif, dan merupakan baja yang fleksibel. *Stainless steel* austenitik memiliki struktur kristal *face-centered cubic* (FCC).

Struktur kristal ini terbentuk akibat adanya penambahan campuran nikel, mangan, dan nitrogen. *Stainless steel* austenitik bersifat non magnet dan tidak dapat dikeraskan dalam kondisi panas.

#### 4. *Stainless Steel Duplex*

*Stainless steel* duplex sangat mirip dengan jenis austenitik dan feritik karena merupakan hasil percampuran antara kedua jenis baja tersebut. Keunggulan duplex adalah dapat mencegah korosi secara efektif dan memiliki ketahanan yang baik terhadap retak korosi tegangan daripada seri austenitik. *Stainless steel* ini biasa dimanfaatkan dalam mesin penukar panas air laut, wadah kimia untuk digunakan di lingkungan klorida konsentrasi tinggi dan industri petrokimia.

### C. Teori Kinetik Gas

Teori kinetik gas adalah teori yang menjelaskan sifat-sifat makroskopis gas seperti tekanan, suhu, dan volume (Clausius, R., 1857). Berdasarkan teori kinetik gas, gas terbentuk dari molekul-molekul gas yang bergerak secara acak dengan arah gerak konstan. Molekul gas bergerak dengan cepat dan saling bertumbukan dengan molekul lainnya. Hubungan sifat-sifat makroskopis gas dapat dituliskan sebagai:

$$PV = nRT$$

Keterangan:

P = tekanan (Pa)

V = volume (m<sup>3</sup>)

n = jumlah mol

R = tetapan gas (8.31 JK<sup>-1</sup>mol<sup>-1</sup>)

T = suhu (K)

Dari persamaan di atas, terdapat tiga hukum yang muncul. Hukum-hukum tersebut mengacu pada perubahan ketiga sifat makroskopis gas. Ketiga hukum tersebut antara lain:

#### 1. Hukum Boyle

Hukum Boyle berbunyi “Apabila suhu dari suatu gas yang ada di sebuah ruangan tertutup dijaga konstan (isotermal), maka tekanan gas tersebut akan berbanding terbalik dengan volumenya”. Perubahan yang terjadi pada gas hanya tekanan dan volume. Kondisi tersebut biasa disebut isotermis. Contoh alat yang menerapkan prinsip Hukum Boyle adalah manometer. Persamaan Hukum Boyle dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Keterangan:

$P_1$  = tekanan awal gas

$V_1$  = volume awal gas

$P_2$  = tekanan akhir gas

$V_2$  = volume akhir gas

#### 2. Hukum Charles

Hukum Charles berbunyi “Apabila tekanan gas yang berada di dalam suatu ruangan tertutup bersifat konstan, maka suhu mutlaknya akan berbanding lurus dengan volume gas tersebut”. Perubahan yang terjadi pada gas hanya volume dan suhu. Kondisi tersebut biasa disebut isobarik. Contoh alat yang menerapkan prinsip Hukum Boyle adalah balon udara, ban, dan pelampung. Persamaan Hukum Boyle dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Keterangan:

$V_1$  = volume awal gas

$T_1$  = suhu awal gas

$V_2$  = volume akhir gas

$T_2$  = suhu akhir gas

### 3. Hukum Gay-Lussac

Hukum Gay-Lussac berbunyi “Tekanan suatu gas akan berbanding lurus dengan suhu absolutnya pada keadaan volume yang konstan”. Perubahan yang terjadi pada gas hanya tekanan dan suhu. Kondisi tersebut biasa disebut isokhorik/isovolumik. Contoh alat yang menerapkan prinsip Hukum Gay-Lussac adalah *rice cooker*. Persamaan Hukum Gay-Lussac dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Keterangan:

$P_1$  = tekanan awal gas

$T_1$  = suhu awal gas

$P_2$  = tekanan akhir gas

$T_2$  = suhu akhir gas

## D. Kalor

Kalor merupakan energi panas yang berpindah dari suatu benda ke benda lainnya yang memiliki energi panas yang lebih sedikit. Kalor muncul jika terjadi perpindahan energi antara sistem dan lingkungan akibat adanya perbedaan suhu atau perubahan wujud zat. Kalor berkaitan dengan kalor jenis dan kapasitas kalor. Kalor jenis adalah sejumlah kalor yang diserap oleh 1 kg zat untuk menaikkan suhu sebesar 1°C, sedangkan kapasitas kalor adalah sejumlah kalor yang diserap oleh benda bermassa tertentu untuk menaikkan suhu sebesar 1°C. Terdapat tiga bentuk dari perpindahan kalor, yakni:

### 1. Konduksi (hantaran)

Konduksi adalah perpindahan panas antara benda atau zat padat yang tidak diikuti oleh perpindahan partikel-partikelnya. Perpindahan panas terjadi pada benda yang suhunya lebih tinggi ke yang lebih rendah. Laju perpindahan panas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu luas permukaan yang saling bersentuhan, suhu awal yang dimiliki benda, dan konduktivitas benda atau tingkat kemudahan benda untuk berkonduksi.

Besar aliran panas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q/t = kA\Delta T/L$$

Keterangan:

$Q$  = besar aliran panas

$t$  = waktu

$k$  = koefisien konduktivitas termal (setiap benda memiliki nilai sendirinya)

$A$  = luas permukaan penghantar

$\Delta T$  = perbedaan suhu

Hukum konduksi panas menyatakan bahwa tingkat (*rate*) perpindahan panas melalui sebuah materi berbanding lurus dengan gradien negatif pada suhu dan luas yang terletak pada sudut siku gradien tersebut (Fourier, 1822). Berdasarkan hukum tersebut, rumus perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dalam:

$$q = -kA(dT/dx)$$

Keterangan:

$q$  = laju perpindahan panas

$k$  = koefisien konduktivitas termal

$A$  = luas permukaan pindah panas

$dT/dx$  = gradien suhu ke arah perpindahan panas

Contoh konduksi antara lain:

- a. Benda akan terasa panas jika ujungnya dipanaskan, misalnya ketika memegang pegangan panci yang sedang digunakan untuk masak.
- b. Gelas yang terasa panas karena diisi air panas.
- c. Air yang mulai mendidih dalam panci.

## 2. Konveksi (aliran)

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara zat padat dengan fluida yang bersentuhan dengan diikuti perpindahan zat perantaranya. Proses ini dapat terjadi pada zat berbentuk cair maupun gas. Contoh konveksi dalam kehidupan sehari-hari yaitu:

- a. Mengeringkan rambut menggunakan *hairdryer*.
- b. Gerakan balon udara.
- c. Asap cerobong pabrik yang meninggi.

Konveksi panas dapat dihitung dengan persamaan pendinginan Newton:

$$q = Ah(T_s - T_\infty)$$

$q$  = laju perpindahan panas

$h$  = koefisien konveksi

$A$  = luas permukaan konveksi

$T_s$  = suhu permukaan sementara

$T_f$  = suhu fluida

Dalam konveksi, sering digunakan istilah-istilah berikut:

a. Fluks panas

Fluks panas adalah laju perpindahan panas persatuan luas. Fluks kalor dapat didasarkan atas luas permukaan luar maupun dalam pipa.

b. Suhu arus rata-rata

Suhu arus rata-rata adalah suhu yang dicapai apabila keseluruhan fluida yang mengalir melalui penampang itu dikeluarkan lalu dicampur secara adiabatik.

c. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

Bila perpindahan panas terjadi secara konduksi dan konveksi secara berurutan, berbagai tahanan panas dapat dijumlahkan untuk memperoleh koefisien pindah panas keseluruhan.

3. Radiasi (pancaran)

Radiasi merupakan perpindahan zat yang terpancar dalam bentuk partikel melalui suatu ruangan yang kemudian diserap oleh zat lain. Pada hakikatnya, semua benda menyerap zat yang terpancar. Apabila sejumlah energi mengenai sebuah permukaan, sebagian energi tersebut akan dipantulkan; sebagian lainnya

diserap; dan sebagian lagi akan menembus bahan. Dengan demikian, bahan yang memiliki karakteristik sempurna untuk proses radiasi adalah benda hitam.

Beberapa faktor yang memengaruhi proses radiasi adalah suhu yang dimiliki oleh benda. Ketika suhu suatu benda lebih tinggi, semakin banyak energi yang dipancarkan. Sifat permukaan benda pun menjadi penentu dalam proses radiasi. Jika permukaan bendanya lebih kasar, energi yang diradiasikan akan lebih besar daripada permukaan yang halus. Demikian pula dengan luas permukaan. Semakin besar luas permukaan suatu benda, radiasinya akan lebih besar. Faktor terakhir adalah faktor tegangan. Seperti faktor lainnya, tegangan yang lebih besar akan mengeluarkan energi yang lebih besar.

Daya radiasi suatu benda dapat dihitung berdasarkan Hukum Stefan-Boltzmann. Hukum tersebut menyatakan bahwa jumlah energi yang dipancarkan per waktu dari satuan luas permukaan benda hitam ideal akan sebanding dengan kekuatan keempat suhu absolut benda hitam tersebut (Stefan-Boltzmann, 1879) sehingga daya radiasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = e\sigma T^4$$

Keterangan:

$W = Q/At$  = energi yang dipancarkan tiap satuan luas tiap satuan waktu

$T$  = suhu mutlak

$\sigma$  = tetapan Stefan-Boltzmann

$e$  = emisivitas

Contoh nyata dari radiasi yakni:

- a. Pancaran sinar matahari sampai ke Bumi.
- b. Ketika berada dekat api, tubuh terasa hangat.

- c. Menetaskan telur unggas dengan lampu.
- d. Pakaian yang dijemur di ruang terbuka akan kering.

## E. Tekanan

Tekanan adalah besarnya gaya yang bekerja tiap satuan luas permukaan atau bidang tekan. Tekanan timbul akibat gaya tekan yang bekerja pada benda per satuan luas permukaan daerah yang tegak lurus. Tekanan berbanding lurus dengan gaya, artinya semakin besar gaya semakin besar pula tekanan yang dihasilkan. Sebaliknya, tekanan berkebalikan dengan luas permukaan, artinya semakin kecil permukaan semakin besar gaya yang dihasilkan. Tekanan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

P = tekanan ( $\text{N/m}^2$  atau Pa/pascal),

F = gaya tekanan (N),

A = luas bidang tekanan ( $\text{m}^2$ ).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu Penelitian**

Selasa, 15 Februari 2022 pukul 09.00 - 12.00 WIB.

#### **B. Metode Pengambilan Data**

Teknik yang digunakan dalam pengumpulan data karya tulis ini yaitu:

1. Studi pustaka, yaitu dengan mengadakan kajian pustaka terhadap berbagai buku referensi yang berkaitan dengan masalah yang dibahas.
2. Observasi, yaitu dengan melakukan pengamatan proses pembuatan *stainless steel* serta penerapan kalor di dalamnya.
3. Wawancara, yaitu dengan melakukan kegiatan tanya-jawab secara lisan dengan narasumber untuk memperoleh informasi.

#### **C. Teknik Analisis Data**

Teknik yang digunakan dalam analisis data laporan ini yaitu:

1. Teknik analisis data deskriptif, yaitu dengan cara menggambarkan atau mendeskripsikan data-data yang ada dengan detail lalu menganalisisnya.
2. Teknik analisis data inferensial, yaitu dengan menarik kesimpulan mengenai suatu variabel yang diteliti berdasarkan data yang diperoleh.

## **D. Langkah-Langkah Observasi**

Berikut langkah-langkah observasi penelitian.

1. Melakukan studi pustaka dengan mengadakan kajian pustaka terhadap beberapa buku referensi yang berkaitan dengan tema penelitian yang akan diteliti.
2. Melakukan observasi terhadap proses produksi *stainless steel* di pabrik PT Caterlindo - Simply Stainless Indonesia.
3. Melakukan wawancara dengan narasumber untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam pembuatan laporan penelitian.
4. Mengumpulkan data yang didapat dalam observasi dan wawancara.
5. Mengkaji ulang teori hasil studi pustaka dengan hasil observasi dan wawancara.

## BAB IV

### HASIL PENGAMATAN

#### A. Penerapan Teori Kinetik Gas pada Proses Pemotongan (*Cutting*)

PT Caterlindo menggunakan “*fiber laser cutting machine*”. *Fiber laser cutting machine* atau pemotong laser serat adalah alat pemotong logam laser CNC dengan kualitas, kecepatan, presisi, dan efisiensi yang tinggi. Mesin ini dilengkapi dengan kekuatan yang bervariasi, mulai dari 1000 hingga 40.000 watt. Mesin laser ini dapat digunakan untuk memotong lembaran dan tabung logam dari berbagai macam baja, aluminium, titanium, tembaga, dan bahan logam lainnya dengan ketebalan yang berbeda.



Gambar 4.a Mesin Laser

Mesin laser ini sebagian besar bekerja dengan adanya bantuan gas nitrogen dan oksigen yang dicampur, dengan listrik sebagai hantarannya. Pada proses *laser cutting*, proses pemotongan logam atau *metal* dilakukan dengan tekanan dan konsentrasi nitrogen yang tinggi. Proses ini membuat besi menguap. Peristiwa tersebut sesuai dengan Hukum Gay-Lussac yang menyatakan bahwa pada volume konstan, tekanan dan suhu suatu gas berbanding lurus. Tekanan gas yang tinggi pada proses *laser cutting* membuat suhu yang dihasilkan cukup tinggi sehingga membuat besi menguap. Hukum Gay-Lussac dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Keterangan:

$P_1$  = tekanan awal gas

$T_1$  = suhu awal gas

$P_2$  = tekanan akhir gas

$T_2$  = suhu akhir gas

Sebelum besi yang menguap sebelumnya dapat memadat kembali, gas nitrogen memindahkannya dari pinggiran potongan logam yang sedang dikerjakan. Keberadaan nitrogen juga berperan untuk mengurangi perubahan warna pada logam saat proses pemotongan, membuat pembatas antara oksigen yang ada di atmosfer dengan besi yang panas, dan juga membantu menyalurkan panas sehingga hasil potongan lebih cepat dingin.



Gambar 4.b Tabung Gas Argon dan Nitrogen

Nitrogen memiliki beberapa kelebihan dalam pemotongan logam, antara lain:

1. Biaya rendah

Nitrogen sebenarnya adalah komponen termahal dalam produksi dan proses laser *cutting* pemotongan logam, tetapi dengan kemampuan produksi mandiri nitrogen, PT Caterlindo dapat memotong biaya sampingan seperti penyewaan tabung atau transportasi.

2. Produktivitas lebih efisien

Penggunaan nitrogen membuat tidak ada lagi kebutuhan penggantian.

3. Efisiensi Terbaik

PT Caterlindo dapat menentukan sendiri kemurnian gas yang dibutuhkan.

4. Mencegah terjadinya oksidasi

Gas nitrogen dapat menciptakan ruang bebas oksigen tempat laser beroperasi dan menghindari oksidasi yang dapat menyebabkan korosi (perkaratan). Kualitas produk akan menurun dan masalah adhesi lainnya akan muncul dikarenakan penumpukan lapisan karbon tempat pemotongan.

5. Membantu mencuci (membersihkan) ujung laser

Untuk menghindari distorsi pada keakuratan laser, ujung lubang penembak laser harus tetap dijaga bersih dari debu dan partikel sisa pemotongan. Nitrogen yang sifatnya kering dan bebas dari oli membuatnya menjadi komponen yang ideal untuk melakukan pembersihan ini.

Sebelum digunakan, mesin laser harus mengolah termal terlebih dahulu. Serat mesin *laser cutting* adalah proses pengolahan termal di mana sinar laser sejajar dengan alat pengolahan. Parameter spesifik juga perlu digunakan selama pemrosesan. Selanjutnya, faktor yang menentukan kualitas pemotongan dan waktu pemrosesan benda kerja adalah kekuatan mesin pemotongan laser logam dan jenis gas tambahan. Oksigen dan nitrogen adalah gas tambahan yang paling umum digunakan. Dalam pemrosesan aktual, pilihan gas tertentu ditentukan oleh jenis bahan yang dipotong oleh logam mesin pemotongan laser, ketebalan dan kualitas tepi yang diperlukan. Secara umum, oksigen adalah gas tambahan yang paling umum digunakan saat bekerja dengan mesin pemotongan laser serat. Baja tipis tidak membutuhkan banyak substitusi karena proses pembakarannya.

Proses pembakaran melibatkan reaksi kimiawi oksigen dan besi yang melepaskan banyak energi kuantum dan cahaya. Kecepatan potong menggunakan oksigen sebagai gas pembantu untuk baja tipis akan sama untuk mesin potong laser fiber dengan daya 1500 watt sampai 6000 watt. Nitrogen biasanya digunakan sebagai gas pembantu saat memotong *stainless steel* atau aluminium dengan mesin pemotongan *laser seat cc*. Nitrogen dapat mencegah gas saat mesin pemotongan laser baja memotong bahan dan mencegah proses pembakaran yang mengarah ke laser untuk menguapkan bahan dengan cepat untuk mencapai kualitas pemotongan yang lebih baik.

Daya adalah faktor penentu yang memengaruhi kecepatan potong mesin laser. Secara umum, semakin besar daya maka kecepatan potong meningkat. Dalam berbagai industri aplikasi laser, daya laser terus meningkat. Melalui perkembangan teknologi yang berkelanjutan, terdapat banyak pilihan gas tambahan. Untuk membuat keputusan yang tepat antara oksigen dan nitrogen, kriteria berikut harus dipertimbangkan:

1. Kecepatan pemrosesan

Seperti yang disebutkan sebelumnya, kecepatan pemotongan oksigen dibatasi oleh daya yang dapat diterapkan oleh pemotongan laser untuk mesin baja, sedangkan kecepatan pemotongan nitrogen secara langsung berkaitan dengan daya. Dalam keadaan tertentu, saat memotong baja tipis, kecepatan pemrosesan dengan nitrogen dan daya laser yang lebih tinggi mungkin tiga hingga empat kali lebih cepat daripada saat menggunakan oksigen.

2. Pemrosesan sekunder (termasuk kualitas tepi yang dibutuhkan)

Ketika nitrogen digunakan sebagai gas tambahan dari mesin pemotongan *laser seat* 1500 watt, permukaan pemotongan sangat halus dan sangat cocok untuk pelapis bubuk, dan juga dapat digunakan sebagai permukaan pengelasan. Metode pemotongan ini biasanya tidak membutuhkan pemrosesan sekunder. Akan tetapi, permukaan oksida yang dihasilkan oleh pemotongan oksigen akan memengaruhi lapisan bubuk dan pengelasan, dan terkadang permukaan tersebut perlu dirawat. Remnya cocok untuk *powder coating*.

### 3. Biaya operasional

Tingkat konsumsi nitrogen adalah 10 sampai 15 kali lipat dari oksigen, dan biaya oksigen berkurang. Secara umum, ketebalannya berkurang. Konsumsi nitrogen sebagai gas pembantu juga akan meningkat.

Semua kriteria yang telah disebutkan merupakan faktor penentu untuk memilih oksigen atau nitrogen. Saat menggunakan mesin pemotongan laser untuk lembaran logam (baja tipis), jika pengguna bersedia membayar biaya lebih tinggi untuk menghasilkan suku cadang berkualitas lebih tinggi, pengguna harus memilih nitrogen sebagai gas tambahan. Bertambahnya ketebalan material menyulitkan pemotongan dengan nitrogen. Jika suku cadang yang akan diproduksi memerlukan pemrosesan sekunder, pengguna harus mempertimbangkan biaya proses dan pemrosesan tambahan, cara menggunakan nitrogen dan oksigen, dan aritmatika yang lebih spesifik.



Gambar 4.c Proses *laser cutting*



Gambar 4.d Hasil *laser cutting*



Gambar 4.e Hasil *etching* dengan mesin *laser cutting*

Komposisi gas nitrogen dan oksigen harus sesuai dengan jenis plat. Komposisi gas nitrogen dan oksigen yang tidak sesuai dengan jenis plat akan menimbulkan sisa bercak yang mengakibatkan plat kotor bahkan berkarat. Kurang tepatnya komposisi gas-gas tersebut serta pengotoran bagian *nozzle* seperti yang terlampir pada gambar 4.f mengakibatkan plat harus digosok agar bersih kembali. Jika komposisi oksigennya kurang, terutama untuk proses *etching* (mengkukir), hasil *etching* tidak bisa terlihat dengan baik seperti yang terlampir dalam gambar 4.g.



Gambar 4.f Perbandingan *nozzle* bersih (kiri) dan kotor (kanan).



Gambar 4.g Perbandingan plat besi yang melalui proses *etching* tanpa menggunakan oksigen (atas) dan menggunakan oksigen (bawah).

## **B. Perpindahan Kalor pada Proses Pengelasan (*Assembly*)**

Mesin las PT Caterlindo bersumber dari listrik (dalam bentuk ampere) dan juga argon. Listrik dihantarkan menuju mesin las melalui mesin ampere. Mesin ampere menampung listrik dalam jumlah tertentu lalu dihantarkan pada mesin las melalui kabel. Listrik dari mesin ampere tersebut dihantarkan menuju setiap bagian mesin las dalam bentuk energi panas. Dilihat dari aliran listrik yang merupakan hantaran, konsep fisika perpindahan kalor dari mesin ampere menuju mesin las adalah konduksi, yaitu perpindahan yang memanfaatkan adanya zat padat yang bersifat konduktor. Zat padat yang menjadi perantara perpindahan panas tersebut antara lain tembaga pada kabel yang menghubungkan mesin ampere dengan mesin las serta baja dan aluminium pada mesin las. Tembaga, baja, dan aluminium merupakan benda padat yang bersifat konduktor.

Selain listrik, terdapat gas argon yang menjadi sumber tenaga mesin las. Pada dunia industri, disebutkan bahwa argon diproduksi dengan cara distilasi fraksi udara cair. Argon juga seringkali dimanfaatkan untuk untuk gas pelindung inert dalam upaya pengelasan. Tahapan industri yang menggunakan suhu tinggi, akan membuat bahan yang awalnya tidak reaktif berubah jadi reaktif. Hal ini membuat argon digunakan dalam jumlah besar, membuat argon memiliki peranan yang sangat penting. Beberapa karakteristik argon adalah sebagai berikut:

1. Kelarutan air mirip dengan oksigen.
2. Tidak memiliki warna dan bau.
3. Sangat mudah terbakar dalam kondisi apapun.
4. Dalam suatu temperatur ruang tidak akan membentuk senyawa yang sifatnya stabil.
5. Secara kimia memiliki sifat inert.

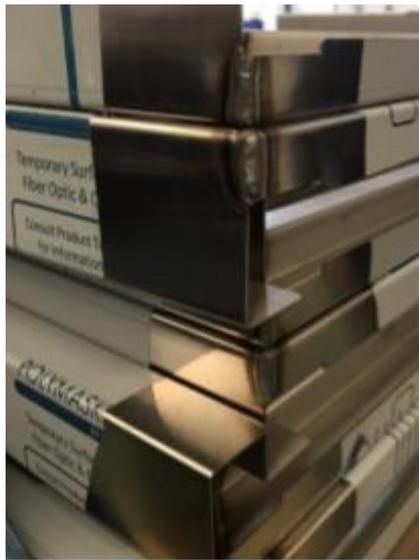
Argon seringkali diaplikasikan dalam proses industri yang memiliki temperatur tinggi. Hal ini membuat argon yang biasanya tidak reaktif menjadi lebih reaktif. Salah satu contohnya adalah penggunaan argon dalam tanur listrik grafit yang bisa mencegah grafit untuk terbakar dan untuk berbagai proses industri. Dalam industri unggas, argon juga dipakai untuk menghasilkan asfiksia dalam unggas dan massa jenis argon terbilang sangatlah tinggi, menjadikan argon tetap berada di permukaan tanah saat munculnya kebocoran.



Gambar 4.h Mesin ampere dan tabung gas argon

PT Caterlindo memiliki las argon yang setiap meja kerjanya terdapat tabung argon. Argon yang digunakan terdiri dari dua tipe dengan fungsi yang berbeda. Tipe pertama sebagai pendingin dan tipe kedua untuk penguapan. Penggunaan dua tipe argon bertujuan memanaskan plat sekaligus mendinginkan plat. Penggunaan kedua argon harus secara bersamaan agar plat besi tetap lurus.

Pada proses pengelasan, besi mengalami pemuaian secara cepat. Akibatnya, terkadang digunakan umpan pada proses ini untuk membantu plat tertutup rapat. Jika tidak menggunakan umpan, plat besi cenderung masih berongga. Jika mesin las menggunakan ampere (listrik) yang lebih kecil, plat besi akan menjadi lebih halus. Dengan demikian, mesin las argon juga menerapkan perpindahan kalor secara konveksi dengan listriknya sebagai penghantar dan adanya peleburan dari argon. Setelah proses pengelasan selesai, pada plat besi akan terlihat warna yang kurang cocok. Oleh karena itu, pada saat proses *finishing*, besi akan dibersihkan dengan menggunakan HCl agar menghilangkan warna yang kurang cocok dan dapat terlihat lebih rapi.



Gambar 4.i Hasil pengelasan sebelum proses *finishing*



Gambar 4.j Hasil pengelasan

### C. Penerapan Tekanan pada Proses Pembengkokan (*Bending*)

*Bending* adalah proses pembengkokan maupun penekukan plat besi dengan menggunakan mesin *bending*. Penggunaan mesin bending di PT Caterlindo mengaplikasikan konsep tekanan. Pada mesin *bending*, terdapat bagian yang disebut silinder yang terletak di bagian atas mesin. Silinder tersebut berperan dalam menekan balok peluncur yang digunakan untuk membengkokkan plat. Silinder dibuat dengan diameter yang lebih kecil untuk meningkatkan jumlah tekanan yang dihasilkan. Gaya yang dialirkan pada area yang lebih kecil akan menghasilkan tekanan yang lebih besar dibanding area yang lebih besar. Hal ini bertujuan mengefisiensikan gaya yang diberikan pada silinder. Teori ini sesuai dengan Hukum Pascal, yaitu:

$$P = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

P = tekanan (N/m<sup>2</sup> atau Pa/pascal),

F = gaya tekanan (N),

A = luas bidang tekanan (m<sup>2</sup>).

Selain itu, pada mesin *bending* terdapat *frame* pembatas dan *frame* penyangga untuk mengatur posisi plat agar pembengkokkan dapat sesuai dengan keinginan. Tekanan silinder pada mesin *bending* dapat diatur sesuai dengan ketebalan plat dan sudut pembengkokkan yang diinginkan. Pengaturan tekanan pada mesin *bending* sangat penting karena dapat memengaruhi kualitas dan ketahanan plat.



Gambar 4.k Mesin bending



Gambar 4.l Mesin bending

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Pembuatan produk berbahan dasar *stainless steel* di PT Caterlindo - Simply Stainless Indonesia terdiri dari tiga tahap, antara lain pemotongan (*cutting*), pengelasan (*assembly*), dan pembengkokan (*bending*). Mesin yang digunakan pada setiap tahap menerapkan beberapa konsep fisika, antara lain teori kinetik gas, kalor, dan tekanan. Teori kinetik gas diterapkan pada mesin laser yang digunakan pada tahap pemotongan. Pada tahap pemotongan, gas nitrogen dengan tekanan dan konsentrasi tertentu menghasilkan panas yang digunakan untuk memotong *stainless steel*. Pada tahap pengelasan, listrik digunakan sebagai sumber energi dari mesin las. Perpindahan kalor melalui kabel menuju setiap bagian mesin dilakukan melalui proses konduksi. Konsep tekanan diterapkan pada tahap pembengkokan. Pada tahap pembengkokan, mesin *bending* menghasilkan tekanan melalui sejumlah gaya yang diberikan pada silinder. Tekanan tersebut digunakan untuk membengkokkan *stainless steel*.

## **B. Saran**

Adapun saran yang dapat bermanfaat sebagai acuan dan membangun pada praktikum selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menurunkan atau menaikkan tekanan gas nitrogen untuk melihat hubungannya dengan kinerja mesin laser. Menurut teori kinetik gas, tekanan suatu gas memengaruhi suhu yang dihasilkan gas tersebut.
2. Menghitung panas yang dihasilkan mesin las saat bekerja. Panas mesin dapat dijadikan acuan penilaian efisiensi mesin karena melibatkan pemakaian energi.

## REFERENCES

- Lasmi, N. K. (2013). Suhu dan kalor. Edited by Fachrizal Rian Pratama and Supriyana. *Mandiri fisika jilid 2 untuk SMA/MA kelas XI* (pp. 77 - 98). Jakarta: PT Gelora Aksara Pratama.
- Anonymous. (2020, September). *Tekanan: Pengertian, Rumus, dan Contoh Soal \ fisika*. Retrieved from [https://www.fisika.co.id/2020/09/tekanan.html#:~:text=Tekanan%20\(P\)%20adalah%20gaya%20per,\(A\)%20adalah%20luas%20permukaan](https://www.fisika.co.id/2020/09/tekanan.html#:~:text=Tekanan%20(P)%20adalah%20gaya%20per,(A)%20adalah%20luas%20permukaan).
- Anonymous. (2021, October 4). *Wawancara*. Wikipedia. Retrieved February 13, 2022, from <https://id.wikipedia.org/wiki/Wawancara>.
- Anonymous. (2021, November 2). *23 contoh kata pengantar proposal populer*. galeriproposal. Retrieved February 14, 2022, from <https://www.galeriproposal.com/2021/11/23-contoh-kata-pengantar-proposal.html>.
- Anonymous. (2021, November 30). *Konduksi panas*. Wikipedia. Retrieved February 15, 2022, from [https://id.wikipedia.org/wiki/Konduksi\\_panas#Hukum\\_Fourier](https://id.wikipedia.org/wiki/Konduksi_panas#Hukum_Fourier).
- Anonymous. (2022, February 11). *Stainless Steel*. Wikipedia. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Stainless\\_steel](https://en.wikipedia.org/wiki/Stainless_steel).
- Anonymous (n. d.). *BAB II: Landasan teori*. Retrieved February 13, 2022, from <http://eprints.umm.ac.id/44887/3/BAB%20II.pdf>.
- Anonymous. (n. d.). *Cutting machine basics - The beginner's guide original*. stylecnc. Retrieved February 16, 2022, from <https://www.stylecnc.com/fiber-laser-cutting-machine/#:~:text=What%20Is%20Fiber%20Laser%20Cutter.high%20precision%20and%20high%20efficiency.&text=Fiber%20laser%20cutter%20is%20also.system%2C%20fiber%20laser%20cutting%20equipment>.
- Christie, N. (2021, September 11) *Hukum Gay Lussac: Bunyi, rumus, contoh soal, dan penerapan*. Zenius. Retrieved February 16, 2022, from <https://www.zenius.net/blog/rumus-hukum-gay-lussac-dan-contoh-soal>.
- Erick, Y. (2021, June 23). *Mengenal proses bending, jenis mesin, faktor yang mempengaruhinya*. Stella Maris College. Retrieved February 16, 2022, from <https://stellamariscollege.org/bending/>.

- Erick, Y. (2021, May 22). *Mengenal stainless steel – Pengertian, jenis, kelebihan dan kekurangan*. Stella Maris College. Retrieved from <https://stellamariscollege.org/stainless-steel/#:~:text=Stainless%20Steel%20diguna.kan%20dalam%20aksesori.%2C%20bak%20cuci%2C%20dan%20wajan.>
- Rianno, F. (2021, September 25). *Kupas tuntas rumus teori kinetik gas*. Zenius. Retrieved from <https://www.zenius.net/blog/rumus-teori-kinetik-gas.>
- Suhardi27. (2017). *Faktor yang mempengaruhi intensitas radiasi termal sebuah benda*. Brainly. Retrieved February 16, 2022, from <https://brainly.co.id/tugas/13391974.>
- Supardi, N. I. (2011, September 12). *Perpindahan panas konveksi*. Nurul Iman Supardi, ST. MP - Teknik Mesin Unib. Retrieved February 14, 2022, from [https://nurulimantmunib.wordpress.com/tag/hukum-pendinginan-newton/.](https://nurulimantmunib.wordpress.com/tag/hukum-pendinginan-newton/)
- Swawikanti, K. (2022, January 22). *Macam-macam perpindahan kalor: Konduksi, konveksi & radiasi / Fisika kelas 11*. Ruangguru. Retrieved February 13, 2022, from <https://www.ruangguru.com/blog/perpindahan-kalor.>
- Swawikanti, K. (2021, October 7). *Memahami kalor dan rumus-rumusnya / Fisika kelas 11*. Ruangguru. Retrieved February 13, 2022, from <https://www.ruangguru.com/blog/pengertian-kalor-dan-rumusny.>
- Syaiful, M. (2010). *Mekanisme perpindahan energi*. Retrieved February 16, 2022, from [https://www.google.co.id/books/edition/Mekanisme\\_perpindahan\\_energi/lb38DwAAQBAJ?hl=id&gbpv=0.](https://www.google.co.id/books/edition/Mekanisme_perpindahan_energi/lb38DwAAQBAJ?hl=id&gbpv=0.)

## LAMPIRAN



Wawancara dengan narasumber



Observasi area produksi