

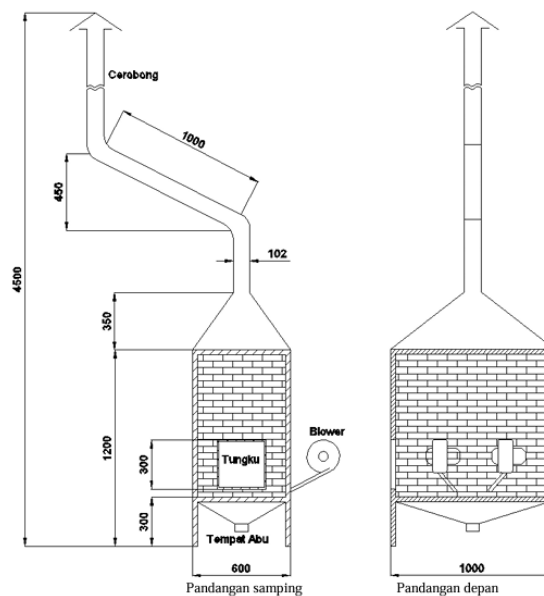
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

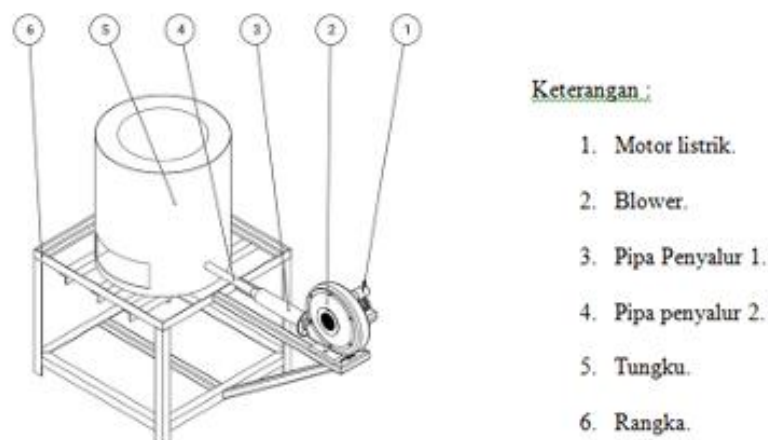
Penelitian terkait tungku pembakaran logam telah banyak dilakukan, khususnya pada tungku yang menggunakan bahan bakar padat seperti arang kayu yang umum dijumpai pada industri pandai besi tradisional.

Studi oleh Sodikin dkk., (2016) menunjukkan bahwa penggunaan tungku dengan sistem suplai udara manual memiliki kelemahan dalam menjaga kestabilan aliran udara, sehingga proses pembakaran tidak berlangsung secara optimal. Penggunaan blower sebagai pengganti sistem manual terbukti mampu meningkatkan suplai oksigen dan mempercepat proses pemanasan hingga sekitar 40–66%. Meskipun demikian, desain tungku yang masih sederhana menyebabkan distribusi panas di dalam ruang bakar belum merata dan masih terjadi kehilangan energi ke lingkungan, sehingga efisiensi termal belum sepenuhnya tercapai. Hasil penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Tungku Pembakaran Penelitian Sodikin dkk

Selanjutnya, penelitian oleh Hidayat dkk., (2022) mengungkapkan bahwa tungku tradisional berbahan bakar arang masih memiliki beberapa kendala, seperti waktu pemanasan yang cenderung lama serta kesulitan dalam mengendalikan temperatur. Walaupun telah dilakukan pengembangan dengan menambahkan blower untuk meningkatkan suplai udara, proses pembakaran belum sepenuhnya efisien karena belum adanya sistem pengaturan pembakaran yang terintegrasi dengan baik. Hal ini mengakibatkan pemanasan logam tidak merata dan masih menghasilkan emisi asap yang cukup tinggi. Hasil penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Tungku Pembakaran Penelitian Hidayat dkk

Penelitian lain oleh Riansyah & Sutjahjo (2019) menegaskan pentingnya peran rasio udara terhadap bahan bakar (Air Fuel Ratio/AFR) dalam proses pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suplai udara yang tidak sesuai dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, yang berdampak pada rendahnya temperatur serta kualitas nyala api. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun telah menggunakan blower, tanpa pengaturan yang tepat pembakaran tetap tidak maksimal, terutama pada sistem yang menggunakan bahan bakar padat seperti arang atau biomassa.

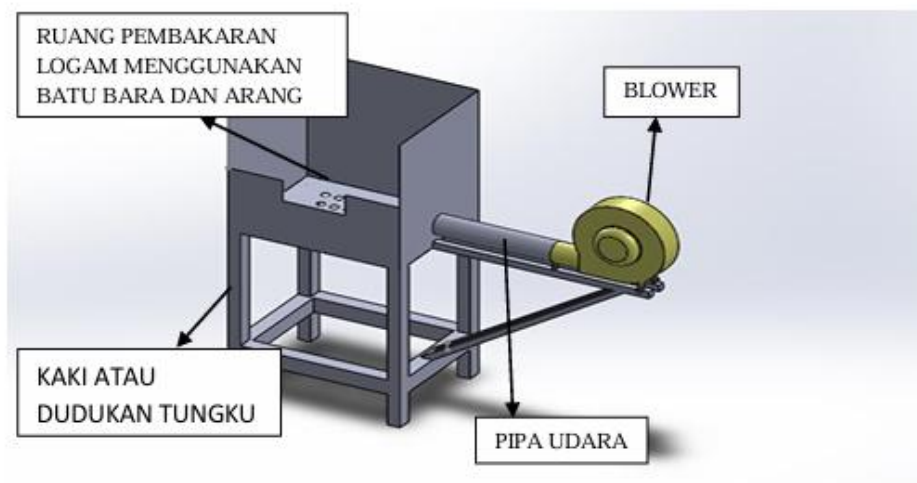
Selain itu, penelitian oleh Siswanto & Purnomo (2022) menjelaskan bahwa penggunaan bahan bakar arang kayu memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi pembakaran, yang disebabkan oleh ketergantungan terhadap suplai udara. Ketidakefisienan proses pembakaran menyebabkan energi panas yang

dihasilkan tidak optimal, sehingga diperlukan inovasi pada sistem pembakaran yang lebih efisien dan mudah dikontrol. Hasil penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Tungku Pembakaran Penelitian Siswanto & Purnomo

Penelitian oleh Yudha dkk,. (2023) juga menunjukkan bahwa tungku tradisional berbahan bakar arang dengan desain terbuka memiliki efisiensi yang rendah serta menghasilkan polusi udara yang cukup tinggi. Upaya pengembangan dilakukan melalui penerapan sistem tungku tertutup dan penambahan blower untuk meningkatkan kualitas pembakaran serta mengurangi emisi. Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan kinerja tungku, namun efisiensinya masih terbatas akibat karakteristik bahan bakar padat yang digunakan. Hasil penelitian ini bisa dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Tungku Pembakaran Penelitian Yudha dkk

Berdasarkan penelitian terdahulu, tungku pembakaran logam berbahan bakar arang/kayu yang telah menggunakan blower sebagai sistem suplai udara menunjukkan peningkatan performa dibandingkan metode manual. Namun demikian, tanpa pengaturan distribusi udara dan rasio udara-bahan bakar yang optimal, proses pembakaran masih belum sepenuhnya sempurna, temperatur tungku belum stabil, serta efisiensi termal masih rendah sehingga sebagian energi panas tetap terbuang ke lingkungan.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengembangan dengan mengganti bahan bakar dari arang/kayu menjadi gas LPG yang memiliki karakteristik pembakaran lebih bersih, mudah dikontrol, serta mampu menghasilkan panas yang lebih stabil. Penggunaan LPG diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, mempercepat proses pemanasan, serta mengurangi emisi asap, sehingga kinerja tungku menjadi lebih optimal dan ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar padat.

2.2 Landasan Teori

Landasan teori ini menjelaskan perancangan tungku pembakaran berbahan bakar gas LPG yang mampu menghasilkan suhu tinggi dengan efisiensi pembakaran yang optimal serta mudah digunakan dalam proses pemanasan logam.

2.2.1 Tungku Pembakaran

Secara umum tungku pembakaran digunakan pada berbagai kegiatan industri maupun usaha kecil seperti pandai besi. Pada industri pandai besi, tungku digunakan untuk memanaskan besi sebelum dilakukan proses penempaan sehingga material menjadi lunak dan mudah dibentuk. Proses pembakaran biasanya dilakukan dengan menggunakan bahan bakar seperti, arang, kayu, atau gas yang membakar di dalam ruang tungku hingga menghasilkan suhu yang tinggi (Sodikin dkk 2016).

Tungku pembakaran merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan logam pada proses penempaan. Tungku bekerja dengan memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar sehingga material yang berada di dalam ruang tungku dapat mencapai temperatur tertentu sesuai dengan kebutuhan proses produksi. Dalam proses industri logam, tungku memiliki peranan penting karena mempengaruhi kualitas pemanasan material dan efisiensi proses kerja (Hidayat, dkk 2022). Contoh tungku pembakaran tradisional bisa dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Tungku Pembakaran

Penggunaan tungku tradisional yang masih menggunakan bahan bakar arang memiliki beberapa kelemahan, diantaranya sulit mengontrol suhu pembakaran, menghasilkan asap yang cukup banyak, serta efisiensi pembakaran yang rendah. Kondisi tersebut dapat menyebabkan proses pemanasan menjadi lebih lama dan kurang efisien. Oleh karena itu, banyak penelitian yang mulai mengembangkan tungku pemanas dengan bahan bakar gas LPG sebagai alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Kaino dkk 2025).

Tungku berbahan bakar gas LPG memiliki beberapa keunggulan dibandingkan tungku berbahan bakar arang, seperti proses penyalaan yang lebih cepat, suhu yang lebih mudah dikontrol, serta pembakaran yang lebih bersih. Selain itu, penggunaan gas LPG juga mampu meningkatkan efisiensi energi dalam proses pembakaran sehingga panas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih optimal dalam proses pemanasan material (siswanto & Purnowo 2022).

Blower merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tungku pemanas yang berfungsi untuk menyuplai udara ke dalam ruang pembakaran. Udara yang dialirkan oleh blower berperan dalam meningkatkan proses pembakaran bahan bakar sehingga api yang dihasilkan menjadi lebih besar dan stabil. Dengan adanya suplai udara yang cukup, proses pembakaran dapat berlangsung lebih sempurna sehingga panas yang dihasilkan oleh tungku menjadi lebih tinggi dan efisien (Sodikin dkk 2016).

2.2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur antara dua sistem atau lebih. Energi panas secara alami akan berpindah dari daerah yang memiliki temperatur lebih tinggi menuju daerah yang memiliki temperatur lebih rendah hingga tercapai kondisi kesetimbangan termal. Ilmu perpindahan panas mempelajari mekanisme perpindahan energi tersebut serta faktor-faktor yang mempengaruhi laju perpindahan panas pada berbagai media seperti padat, cair, dan gas (Zainuri dkk., 2025).

Dalam bidang teknik, perpindahan panas sangat penting dalam perancangan berbagai sistem energi seperti tungku pembakaran, mesin kalor, boiler, *heat exchanger*, dan sistem pendinginan. Pemahaman mengenai mekanisme perpindahan panas memungkinkan perancang sistem untuk menentukan efisiensi energi serta performa sistem termal secara optimal (Zainuri dkk., 2025).

Secara umum, mekanisme perpindahan panas dibagi menjadi tiga jenis utama yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Ketiga mekanisme tersebut dapat terjadi secara terpisah ataupun bersamaan dalam suatu sistem perpindahan panas.

2.2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas melalui suatu media tanpa disertai perpindahan massa zat. Mekanisme ini terjadi akibat interaksi antar molekul dalam suatu material di mana energi panas berpindah dari partikel yang memiliki energi lebih tinggi ke partikel dengan energi lebih rendah (Zainuri dkk., 2025).

Secara matematis perpindahan panas konduksi dinyatakan dengan Hukum Fourier, seperti pada persamaan 2.1.

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan

q = laju perpindahan panas (W)

k = konduktivitas termal material ($W/m^{\circ}K$)

A = luas penampang perpindahan panas (m^2)

dT/dx = gradien temperatur

Untuk kondisi konduksi satu dimensi sederhana, persamaan berikut bisa dilihat pada persamaan 2.2.

$$Q = \frac{kA (T_1 - T_2)}{L} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan

Q = laju perpindahan panas

T_1 = temperatur sisi panas

T_2 = temperatur dingin

L = ketebalan

(Zainuri dkk., 2025).

2.2.2.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dan fluida yang bergerak. Mekanisme ini melibatkan kombinasi antara perpindahan panas secara konduksi pada lapisan fluida dekat permukaan serta perpindahan energi akibat gerakan massa fluida (Zainuri dkk., 2025).

Konveksi dibagi menjadi dua jenis:

1. Konveksi alami

Terjadi karena perbedaan densitas fluida akibat perubahan temperatur.

2. Konveksi paksa

Terjadi karena adanya bantuan alat seperti kipas atau blower.

Pada tungku pembakaran berbahan bakar gas LPG menggunakan blower, sehingga perpindahan panas terjadi melalui konveksi paksa.

Persamaan konveksi paksa digunakan untuk menghitung laju perpindahan panas akibat aliran fluida yang dipaksa (Zainuri dkk., 2025).

Untuk persamaan konveksi paksa bisa dilihat pada persamaan 2.3.

$$Q = hA (T_s - T_\infty) \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan

Q = laju perpindahan panas

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2K)

A = luas permukaan (m^2)

T_s = temperatur permukaan

T_∞ = temperatur fluida.

2.2.2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan media penghantar. Mekanisme ini sangat dominan pada temperatur tinggi seperti pada sistem pembakaran dan tungku peleburan logam (Zainuri dkk., 2025).

Energi panas dipancarkan oleh permukaan benda dalam bentuk radiasi termal yang dapat merambat melalui ruang hampa.

Persamaan Radiasi (Hukum *Stefan–Boltzmann*) laju panas radiasi bergantung pada luas permukaan dan suhu pangkat empat, sehingga pada temperatur tinggi, radiasi jadi sangat besar dan tidak bisa diabaikan (Zainuri dkk., 2025).

Untuk persamaan radiasi (Hukum *Stefan–Boltzmann*) bisa dilihat pada persamaan 2.4.

$$Q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan

σ = konstanta *Stefan–Boltzmann* ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$)

A = luas permukaan (m^2)

T_1 = temperatur permukaan panas (K)

T_2 = temperatur lingkungan (K)

Untuk permukaan yang nyata digunakan faktor *emisivitas* bisa dilihat pada persamaan 2.5.

$$Q = \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan

ε = *emisivitas* permukaan menunjukkan seberapa baik suatu permukaan memancarkan panas (nilainya antara 0 - 1).

2.2.3 Konsep Termal dalam Perpindahan panas

Konsep termal berkaitan dengan sifat-sifat material yang mempengaruhi kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan atau menyimpan energi panas. Beberapa parameter penting dalam analisis perpindahan panas antara lain adalah temperatur, konduktivitas termal, kapasitas panas, serta difusivitas termal (Zainuri dkk., 2025).

2.2.3.1 Temperatur

Temperatur merupakan ukuran tingkat energi kinetik rata-rata partikel dalam suatu sistem. Perbedaan temperatur merupakan faktor utama yang menyebabkan terjadinya perpindahan panas.

Untuk persamaan temperatur bisa dilihat pada persamaan 2.6.

$$\Delta T = T_1 - T_2 \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan

ΔT = perbedaan temperatur

T_1 = temperatur awal

T_2 = temperatur akhir

2.2.3.2 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal adalah kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Material logam umumnya memiliki konduktivitas termal tinggi sehingga panas dapat merambat dengan cepat melalui material tersebut (Zainuri dkk., 2025).

Untuk persamaan konduktivitas termal bisa dilihat pada persamaan 2.7.

$$k = \frac{QL}{A\Delta L} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan

k = konduktivitas termal (W/mK)

Q = laju perpindahan panas (W)

L = panjang atau ketebalan material (m)

ΔL = perbedaan temperatur

2.1.3.3 Difusivitas Termal

Difusivitas termal menggambarkan kemampuan material dalam merespon perubahan temperatur (Zainuri dkk., 2025).

Untuk persamaan difusivitas termal bisa dilihat pada persamaan 2.8.

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan

α = difusivitas termal (m^2/s)

k = konduktivitas termal

ρ = massa jenis material

C_p = kapasitas panas jenis

2.2.4 Gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

Gas *LPG* (*Liquefied Petroleum Gas*) adalah campuran gas yang terdiri terutama dari propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), yang dapat dicairkan pada tekanan rendah. Gas *LPG* dikenal sebagai bahan bakar serbaguna yang digunakan dalam berbagai keperluan rumah tangga, komersial, dan industri, termasuk untuk memasak, pemanas, dan bahan bakar kendaraan. Gas *LPG* dicairkan dan disimpan dalam bentuk cair dalam tabung atau tangki bertekanan, yang memudahkan transportasi dan penyimpanan. Saat digunakan, gas *LPG* dialirkan keluar dalam bentuk gas, yang mudah terbakar dan menghasilkan panas yang besar. Berikut gas *LPG* bisa dilihat pada Gambar 2.6.



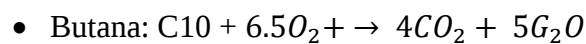
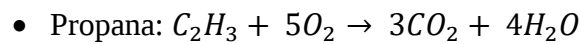
Gambar 2. 6 Gas LPG

(Sumber: <https://chandra-asri.com/id/blog/lpg-adalah>)

2.2.5 Air Fuel Ratio (AFR) Udara dan Gas LPG

Air Fuel Ratio (AFR) adalah perbandingan antara jumlah udara dan gas *LPG* dalam campuran sebelum dibakar. Perbandingan ideal (*stoikiometri*) yang dibutuhkan untuk memanggng sempurna dan efisien. *AFR* yang terlalu kaya atau terlalu kurus akan mengurangi efisiensi, meningkatkan emisi, dan dapat merusak mesin. Sensor oksigen mengukur *AFR* dan ECU mengatur jumlah GAS *LPG* yang disuntikkan untuk mencapai *AFR* optimal.

Propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀) adalah gas hidrokarbon yang digunakan dalam gas LPG, dengan propana lebih cocok untuk daerah dingin karena titik didihnya yang lebih rendah, sementara butana digunakan di daerah hangat. Keduanya memerlukan rasio udara terhadap bahan bakar yang tepat untuk pembakaran efisien, sekitar 15,6:1 untuk propana dan 15,5:1 untuk butana. Gas ini mudah terbakar dan memerlukan penyimpanan serta penggunaan yang aman untuk mencegah kebocoran atau kebakaran.



Untuk persamaan kalor bisa dilihat pada persamaan 2.9.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

Q = jumlah energi yang dibebaskan

m = massa benda yang di panaskan dalam tungku

c_p = kapasitas kalor dari material yang dipanaskan (J/kg°C)

ΔT = kenaikan suhu yang diinginkan

Air Fuel Ratio didefinisikan sebagai perbandingan massa udara dengan massa bahan bakar dalam proses pembakaran. Rasio ini dapat dicari dengan menggunakan basis molar (mol udara dibagi dengan mol bahan bakar) atau dengan basis massa (massa udara dibagi dengan massa bahan bakar) (Pasaribu, 2018).

Untuk menghitung *Air Fuel Ratio* berdasarkan massa bisa dilihat pada persamaan 2.10 dan untuk menghitung *Air Fuel Ratio* berdasarkan mol bisa dilihat pada persamaan 2.11.

$$AFR_m = \frac{M \text{ udara}}{M \text{ bahan bakar}} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$AFR_n = \frac{N \text{ udara}}{N \text{ bahan bakar}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

AFR_m = *air fuel ratio* berdasarkan massa

AFR_n = *air fuel ratio* berdasarkan mol

M_{udara} = massa udara

$M_{bahan\ bakar}$ = massa bahan bakar

N_{udara} = mol udara

$N_{bahan\ bakar}$ = mol bahan bakar

Dalam proses pembakaran, nilai *AFR stoikiometri* merupakan kondisi ideal di mana seluruh bahan bakar terbakar secara sempurna. Pada mesin berbahan bakar hidrokarbon seperti gas LPG, nilai *AFR stoikiometri* berkisar sekitar 14,7 : 1, yang berarti setiap 14,7 kg udara dibutuhkan untuk membakar 1 kg bahan bakar secara sempurna (Ramadhan dkk 2023).

2.2.6 Besi Baja

Baja adalah material logam yang tersusun atas unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), serta dapat dipadukan dengan unsur lain seperti mangan (Mn), silikon (Si), kromium (Cr), dan nikel (Ni) untuk menghasilkan sifat tertentu sesuai kebutuhan. Baja banyak dimanfaatkan pada bidang konstruksi, manufaktur, dan permesinan karena memiliki sifat kuat, ulet, mudah dibentuk, serta kekerasannya dapat ditingkatkan melalui proses perlakuan panas. Baja karbon sendiri memiliki kandungan karbon sekitar 0,2% hingga 2,14%, dimana unsur karbon berperan dalam meningkatkan kekerasan material (Prayogi & Suhardiman, 2019).

Berdasarkan kadar karbonnya, baja karbon dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*).

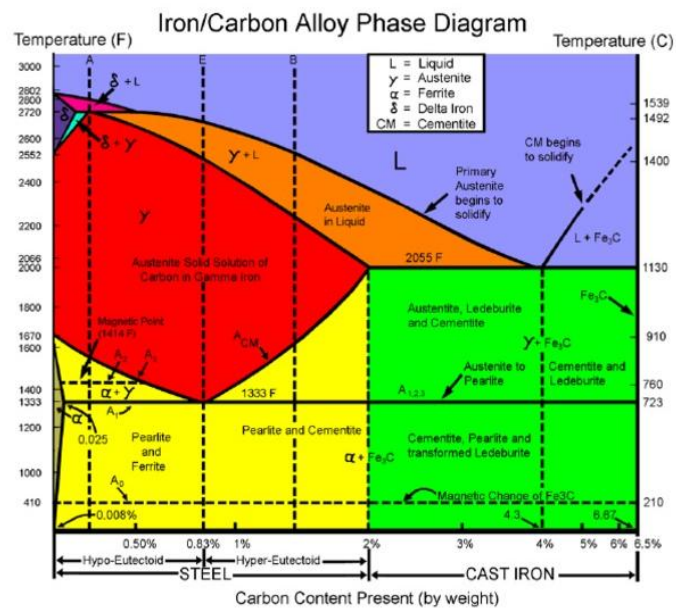
Baja karbon rendah merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi kurang dari 0,2% C.

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*).

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,2% C – 0,6% C.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*).

Baja karbon tinggi merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,6% C – 1,4% C.



Gambar 2. 7 Diagram Fasa Fe - Fe₃C

(Sumber: <https://www.scribd.com/doc/245515534/Diagram-Fasa-Baja-Karbon>)

- *Ferrit* (α -Fe) merupakan fasa yang memiliki kadar karbon sangat rendah, bersifat lunak, ulet, dan mudah dibentuk. *Ferrit* umumnya stabil pada temperatur rendah.
- *Austenit* (γ -Fe) merupakan fasa yang terbentuk pada temperatur tinggi. *Austenit* memiliki kemampuan melarutkan karbon lebih besar dibandingkan *ferrit* sehingga banyak digunakan sebagai dasar dalam proses perlakuan panas baja.
- *Sementit* (Fe₃C) adalah senyawa besi dan karbon yang memiliki sifat sangat keras namun rapuh. Keberadaan *sementit* berpengaruh terhadap peningkatan kekerasan dan kekuatan baja.

- *Perlit* merupakan campuran *ferrit* dan *sementit* yang terbentuk saat pendinginan *austenit*. Struktur ini memberikan kombinasi sifat kekuatan dan keuletan yang baik pada baja.

Pada diagram fasa Fe-C terdapat garis kritis sekitar 723°C yang menjadi titik awal perubahan struktur ferrit/perlit menjadi austenit. Pada temperatur tersebut sifat baja berubah dari kondisi keras menjadi lebih lunak dan plastis sehingga lebih mudah dibentuk dan ditempa. Perubahan sifat mekanik ini semakin meningkat pada rentang suhu sekitar 900°C–1000°C yang umum digunakan dalam proses perlakuan panas (Prayogi & Suhardiman, 2019).

2.2.7 Regulator

Regulator adalah alat, komponen, atau badan pengawas yang berfungsi untuk mengatur, mengendalikan, atau menjaga kestabilan suatu sistem atau proses agar tetap beroperasi dalam batas yang diinginkan. Dalam konteks fisik, seperti alat teknis atau mekanis, *regulator* berperan dalam mengontrol variabel tertentu, seperti tekanan, tegangan, atau suhu. Berikut *regulator* gas bisa dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Regulator Gas

(Sumber: <https://www.guataka.com/2023/02/28/kompor-rumah-pake-regulator-tekanan-tinggi-atau-rendah-ya/>)

2.2.8 Flahsback Arrestor

Flahsback Arrestor atau (penahan arus balik) adalah perangkat pengaman yang digunakan terutama dalam pengelasan gas, pemotongan, dan aplikasi lain

yang menggunakan gas seperti oksigen dan bahan bakar (misalnya, asetilena, propana). Tujuannya adalah untuk mencegah api atau gas peledak mengalir kembali melalui saluran gas, tabung, atau *regulator*, yang dapat menyebabkan kecelakaan berbahaya, seperti ledakan tabung. Berikut *flashback arrestor* bisa dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Flahsback Arrestor

(Sumber: <https://shopee.com.my/HEAVY-DUTY-FLASHBACK-ARRESTOR-OXYGEN-ACETYLENE-i.454103513.4092415730>)

2.2.9 Blower

Blower adalah perangkat mekanik yang digunakan untuk menghasilkan aliran udara atau gas dengan tekanan yang lebih tinggi daripada kipas biasa. Blower ini dirancang untuk memindahkan udara dalam volume besar dengan cepat, menjadikannya ideal untuk berbagai keperluan industri, komersial, dan rumah tangga. Aplikasi blower meliputi ventilasi, pendinginan, pengeringan, penghisapan debu, pemanas, dan sirkulasi udara. Blower juga digunakan dalam sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) untuk memastikan sirkulasi udara yang efisien dan menjaga suhu serta kualitas udara di dalam ruangan. Berikut blower bisa dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Blower Sentrifugal

(Sumber: <https://www.lazada.co.id/products/blower-keong-angin-2-mesin-blower-udara-2-inch-elektric-elektrik-blower-2-i8078930434.html>)

Berdasarkan kajian literatur, faktor koreksi digunakan untuk menyesuaikan perubahan sifat udara akibat temperatur tinggi. Mengacu pada *ASHRAE Handbook* dan teori mekanika fluida, peningkatan temperatur menyebabkan penurunan densitas udara sehingga mempengaruhi debit aliran. Oleh karena itu, faktor koreksi diterapkan untuk mendekati kondisi operasi nyata (White, 2016).

Tabel 2. 1 Faktor koreksi pada Blower

Ketetapan faktor koreksi blower	Faktor koreksi
Pada suhu < 250 °F	0,8 sampai 1,5
Pada suhu > 250 °F	1,71
Pada suhu > 500 °F	2 sampai 3

2.2.10 Semen Tahan Api

Semen tahan api temperatur tinggi dirancang untuk aplikasi pada suhu ekstrem (1000°C – 1800°C). Digunakan dalam industri metalurgi, pembangkit listrik, dan petrokimia, semen ini tahan terhadap panas dan perubahan suhu cepat, menjaga kekuatan dan stabilitas struktural tanpa retak atau deformasi. Berikut semen tahan api bisa dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Semen Tahan Api

(Sumber: https://bentengapi.org/technocast-castable-refractory-tahan-api/#google_vignette)

2.2.11 Glasswool

Glasswool adalah bahan isolasi yang terbuat dari serat kaca yang sangat halus, yang dirancang untuk meredam suara dan panas. *Glasswool* sering digunakan pada aplikasi atap dan dinding untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal. Bahan ini memiliki ketahanan yang baik terhadap api dan dapat menahan suhu tinggi hingga 150°C , sehingga aman digunakan di berbagai lingkungan konstruksi. Berikut *glasswool* bisa dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Glasswool

(Sumber: https://www.tokopedia.com/find/glasswool?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=find)

2.2.12 Thermocouple

Thermocouple adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”. Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Suhu (Temperatur). Beberapa kelebihan *Termocouple* yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C . Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan. Berikut *thermocouple* bisa dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 *Thermocouple*

(Sumber: <https://www.ubuy.ae/en/product/C1WF5CLYG-thermocouple-sensor-304-m8-stainless-steel-heat-resistant-k-type-thermocouple-for-textile-industries-3m>)

2.2.13 *Besi Hollow*

Besi *hollow* merupakan salah satu jenis material logam berbentuk pipa berpenampang kotak, baik persegi maupun persegi panjang, yang banyak digunakan dalam bidang konstruksi dan pabrikasi. Material ini umumnya dibuat dari baja, galvanis, atau stainless steel sehingga memiliki kekuatan yang cukup tinggi serta ketahanan yang baik terhadap korosi. Penggunaan besi hollow sangat luas, antara lain untuk rangka bangunan, pagar, kanopi, railing, hingga struktur penopang plafon. Bentuknya yang berongga menjadikan material ini lebih ringan dibandingkan besi padat, namun tetap mampu memberikan kekuatan struktural yang memadai. Selain itu, besi *hollow* juga mudah dalam proses pemotongan, pengelasan, dan pembentukan sesuai kebutuhan konstruksi. Berikut besi *hollow* bisa dilihat pada Gambar 2.14.

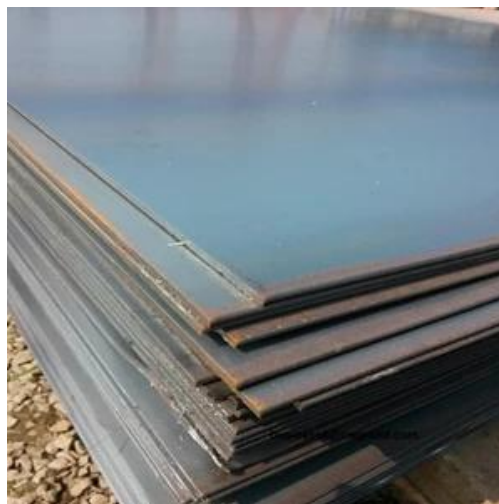


Gambar 2. 14 Besi Hollow

(Sumber: https://juraganmaterial.id/produk/besi-profil-nb-hollow-hitam-40-x-40-tebal-12mm-iosk?srsId=AfmBOoqh_36M-CIhsKpon82esGfNiw11SlAhnN2XKzFmmqzwBoc5hT1YCk4)

2.2.14 Plat Baja

Plat baja adalah material berbentuk lembaran datar yang terbuat dari baja dengan ketebalan bervariasi, mulai dari beberapa milimeter hingga beberapa sentimeter. Plat baja digunakan di berbagai industri, seperti konstruksi, otomotif, dan manufaktur, karena sifatnya yang kuat, tahan lama, dan relatif mudah dibentuk atau dipotong sesuai kebutuhan. Plat baja juga sering dilapisi atau dicat untuk meningkatkan ketahanannya. Berikut plat baja bisa dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Plat Baja

(Sumber: <https://www.harijayainsulation.com/product/plat-besi-6mm-x-4-feet-x-8-feet-p813920.aspx>)

2.2.15 Pipa Galvanis

Pipa galvanis adalah pipa berbahan dasar baja yang dilapisi seng (zinc) melalui proses galvanisasi untuk melindungi permukaannya dari korosi atau karat. Lapisan seng ini berfungsi sebagai pelindung utama yang membuat pipa lebih tahan terhadap air, kelembapan, dan kondisi lingkungan yang keras, sehingga memiliki daya tahan lebih lama dibanding pipa baja biasa serta banyak digunakan dalam instalasi air, konstruksi, dan kebutuhan industri. Berikut pipa galvanis bisa dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Pipa Galvanis

(Sumber: <https://perwirasteel.com/blog/pipa-galvanis/>)