

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Berondong Jagung (*Popcorn*)

Berondong jagung atau yang lebih dikenal sebagai *popcorn* adalah makanan ringan olahan dari biji jagung. Berondong sendiri disebut sebagai jenis pangan dari biji jagung yang dipanaskan sehingga meletup dan mekar menjadi makanan yang dikenal dengan istilah *popcorn*. *Popcorn* pertama kali dibuat oleh penduduk asli benua Amerika. Untuk menghasilkan berondong jagung yang khas, biji jagung ini biasanya kecil dengan bagian bertepung (*floury*) tertutup sepenuhnya oleh bagian keras. Akibatnya, ketika dipanaskan uap air yang berada pada bagian bertepung akan menekan bagian keras, dan akan terjadi perubahan fisik pada bagian keras yang cenderung melunak. Akhirnya, pada titik tekanan tertentu akan terjadi letupan karena desakan tekanan uap air dari dalam tersebut. Volume pembesaran bervariasi (tergantung pada varietasnya) dapat mencapai lima belas sampai tiga puluh kali dari jagung semula (Yurila Ernanda, 2017).

Popcorn mempunyai beberapa kandungan yang terdapat didalamnya. Dalam sebuah jurnal (Yurila Ernanda, 2017) menyebutkan ahli gizi memberikan nilai tinggi untuk *popcorn* karena manfaatnya. Adapun manfaatnya adalah sebagai berikut ini :

1. Tinggi serat

Popcorn merupakan sumber serat yang membuat rasa kenyang lebih lama dan membantu kadar gula darah tetap stabil. *Popcorn* juga membantu kondisi pencernaan yang jauh lebih sehat.

2. Kaya antioksidan

Sebuah penelitian yang dilakukan *University of Scranton* menunjukkan bahwa camilan serelia utuh seperti *popcorn* memiliki kadar antioksidan yang tinggi, khususnya polifenol. Antioksidan ini akan mencegah radikal bebas dan menurunkan risiko penyakit jantung dan juga kanker.

3. Rendah kalori

Tanpa minyak, mentega dan garam, *popcorn* adalah camilan yang tinggi serat, rendah kolesterol, dan rendah kalori sehingga cocok untuk mereka yang sedang diet. Satu cangkir (sekitar 11 gram) *popcorn* hanya mengandung 30 kalori.

2.2 Mesin Berondong Jagung

Mesin berondong jagung adalah alat yang dirancang untuk menghasilkan camilan *popcorn* secara praktis dan efisien. Alat ini umumnya digunakan di industri makanan ringan dan usaha kecil menengah karena kemampuannya dalam memproduksi *popcorn* dalam jumlah besar dengan waktu yang singkat. Mesin ini biasanya terbuat dari bahan *stainless steel* yang tahan panas, antirarat, dan mudah dibersihkan sehingga sangat mendukung efisiensi operasional. Menurut penelitian oleh Sulistyanto et al. (2023), modifikasi mesin *popcorn* dengan motor listrik dapat meningkatkan kapasitas produksi hingga 2,31 kg per jam, menjadikannya solusi efektif untuk kebutuhan rumah tangga dan usaha kecil (*Universitas Andalas*).

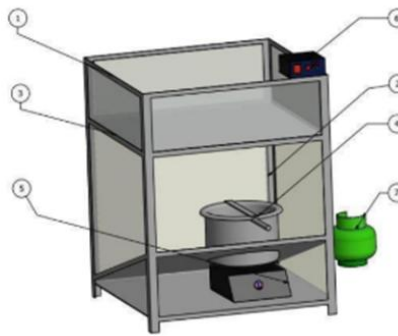
Komponen utama mesin berondong jagung mencakup panci pemanas yang dilapisi antilengket, pengaduk otomatis, dan sistem pengontrol suhu. Sistem ini memungkinkan biji jagung matang secara merata tanpa menempel di permukaan panci sehingga kualitas popcorn tetap terjaga. Beberapa mesin juga menawarkan fleksibilitas dengan opsi pemanasan menggunakan gas *LPG* atau listrik. Dalam kajian oleh

Komaron (2023), integrasi pengaduk otomatis pada mesin *popcorn* membantu mengurangi risiko penggumpalan selama proses pemasakan, yang berdampak pada hasil akhir *popcorn* yang lebih baik (*Jurnal Teknik Mesin*). Hal ini menunjukkan bahwa desain inovatif pada mesin *popcorn* dapat berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas produk.

2.2.1 Mesin Berondong Jagung Terdahulu

Berikut adalah beberapa mesin berondong jagung terdahulu :

1. Mesin *Popcorn* Semi Otomatis



Gambar 2.1 Desain mesin *popcorn*

Mesin *Popcorn* dengan otomasi ini dirancang pada tahun 2017 oleh Sayyuda Faradisa, Joko Purnomo dan Monika Hella Anjelina yang merupakan mahasiswa UNESA Surabaya. Mesin *popcorn* semi otomatis ini bekerja dengan cara memasukkan biji jagung ke dalam panci pemasakan yang dapat menampung hingga 2 kg jagung. Setelah biji jagung dimasukkan, operator hanya perlu menekan tombol "ON" pada *controller* untuk memulai proses pemasakan. Mesin akan mengatur suhu yang diinginkan, dan sensor *thermocouple* akan memastikan suhu tetap stabil. Gas dari tabung *LPG* 3 kg disalurkan melalui selang regulator untuk membakar kompor *LPG*,

yang menghangatkan panci dan memanaskan biji jagung. Ketika *popcorn* matang, katup samping akan membuka secara otomatis, melepaskan *popcorn* tanpa risiko pemanasan berlebih. *Timer* dan *relay* bekerja untuk menghentikan aliran gas ketika waktu yang telah ditentukan tercapai, memastikan *popcorn* matang dengan suhu yang seragam.



Gambar 2.2 Mesin popcorn semi otomatis

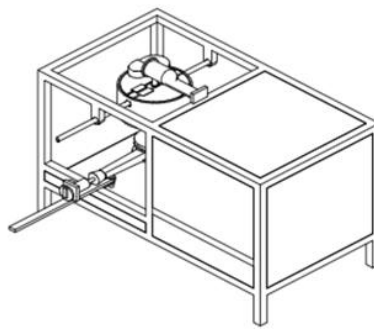
Mesin ini dibangun dengan bahan-bahan antara lain :

- Plat *stainless steel* 1,5 mm
- Selang *LPG*
- Motor listrik
- *Thermostat* dan sensor *thermocouple*
- *Timer* dan *relay*
- Kaca etalase

Keunggulan utama mesin *popcorn* semi otomatis ini terletak pada efisiensi operasional dan kemudahan penggunaan. Pengguna hanya perlu menekan tombol untuk memulai proses, dengan kontrol suhu dan waktu yang presisi untuk hasil *popcorn* yang konsisten. Pengaduk otomatis dan sistem pemanasan yang stabil

memungkinkan *popcorn* matang merata, mengurangi risiko pembakaran. Selain itu, penggunaan gas LPG memberikan fleksibilitas di lokasi tanpa listrik. Namun, mesin ini memiliki kelemahan terkait ketergantungan pada tabung *LPG* 3 kg, yang hanya dapat digunakan untuk produksi satu hari, memerlukan penggantian tabung secara berkala. Selain itu, meskipun semi otomatis, mesin ini tetap membutuhkan perhatian dari operator untuk memastikan proses berjalan lancar dan *popcorn* matang dengan sempurna.

2. Mesin *Popcorn* CV. Indah Mulia Logam



Gambar 2.3 Desain mesin *popcorn* cv. indah mulia logam

Mesin *Popcorn* CV. Indah Mulia Logam diproduksi pada tahun 2023 yang dirancang oleh (Komaron, Megi, 2023). Mesin ini bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanis melalui dinamo. Dinamo berfungsi untuk menggerakkan elemen-elemen mesin, seperti poros dan penggerak, yang memengaruhi kinerja mesin. Sistem penggerak ini dilengkapi dengan kabel penghubung daya yang mentransfer energi listrik dari sumber ke mesin, sehingga dapat beroperasi dengan efisien. Pada saat kabel terhubung dan arus listrik mengalir, motor dinamo memulai gerakan yang dibutuhkan oleh mesin.



Gambar 2.4 Mesin *popcorn* cv. indah mulia logam

Komponen utama mesin ini meliputi dinamo yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis, kabel penghubung daya yang bertugas untuk mengalirkan listrik dari sumber ke mesin, serta baut dan mur yang digunakan untuk menyambungkan bagian-bagian mesin agar tetap kokoh dan dapat dilepas saat diperlukan. Plat seng dan material besi *hollow* digunakan untuk bagian rangka mesin. Komponen tambahan seperti motor listrik, *pulley*, dan sudu pemutar juga digunakan untuk memastikan mekanisme mesin berjalan dengan baik.

Keunggulan utama mesin ini adalah kemampuannya untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis secara efisien, memungkinkan pengoperasian yang lebih stabil dan mudah untuk berbagai mesin industri. Dinamo mempermudah pengaturan dan pengendalian daya. Selain itu, sambungan menggunakan baut dan mur yang memudahkan perawatan dan penggantian komponen. Adapun kelemahan komponen seperti kabel dan dinamo bisa mengalami kerusakan jika digunakan dalam jangka waktu panjang, memerlukan perawatan dan penggantian untuk mempertahankan kinerja optimal mesin. Pada plat seng, meskipun ringan, seng ini memiliki ketahanan yang lebih rendah terhadap korosi jika tidak dilapisi dengan baik, yang bisa mengurangi umur pakai komponen tersebut dalam jangka panjang.

3. Mesin *Popcorn* Komersial Skala Besar Model LZ-DC-70

Mesin *Popcorn* komersial skala besar ini diproduksi pada tahun 2019 di China dengan harga jual saat ini sekitar 96 juta rupiah (*website: indonesian.alibaba.com*). Mesin *popcorn* berbentuk bola ini memiliki konstruksi utama dari bahan *stainless steel* 304 berkualitas tinggi untuk memastikan daya tahan dan kebersihan. Panci pemanasnya dirancang tebal dengan distribusi panas merata, dilengkapi dengan pengaduk otomatis yang digerakkan motor untuk mencegah gosong. Mesin juga dilengkapi dengan pengontrol suhu dan meja pendingin untuk memudahkan produksi dan menjaga kualitas popcorn. Sumber panas yang digunakan bisa berupa gas *LPG* memberikan fleksibilitas bagi penggunaanya.



Gambar 2.5 Mesin *popcorn* model LZ-DC-70

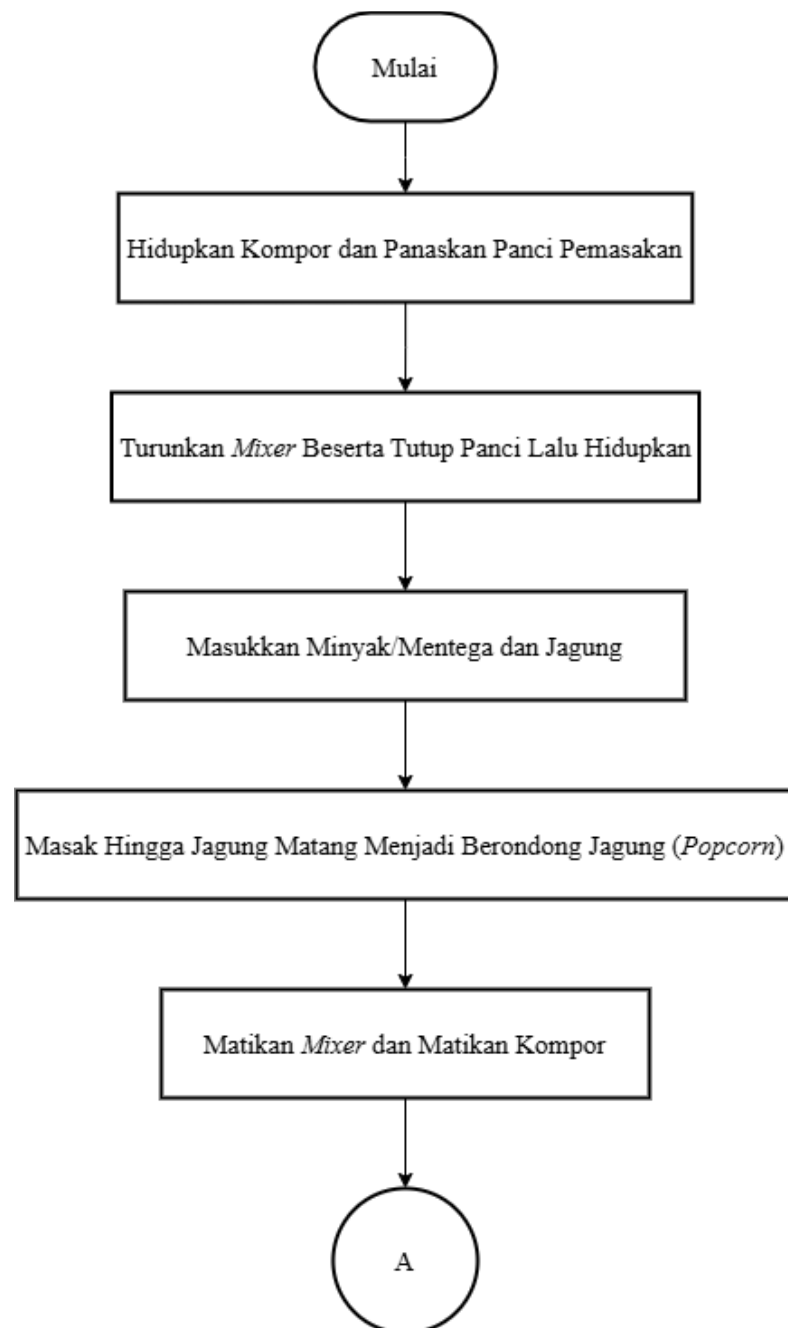
Mesin bekerja dengan memanaskan biji jagung menggunakan panci pemanas bersuhu tinggi. Proses ini dibantu oleh pengaduk otomatis yang menjaga bahan bergerak agar matang secara merata tanpa gosong. Saat suhu mencapai titik letup biji jagung, biji-biji tersebut akan mekar menjadi *popcorn* berbentuk bola. Setelah matang,

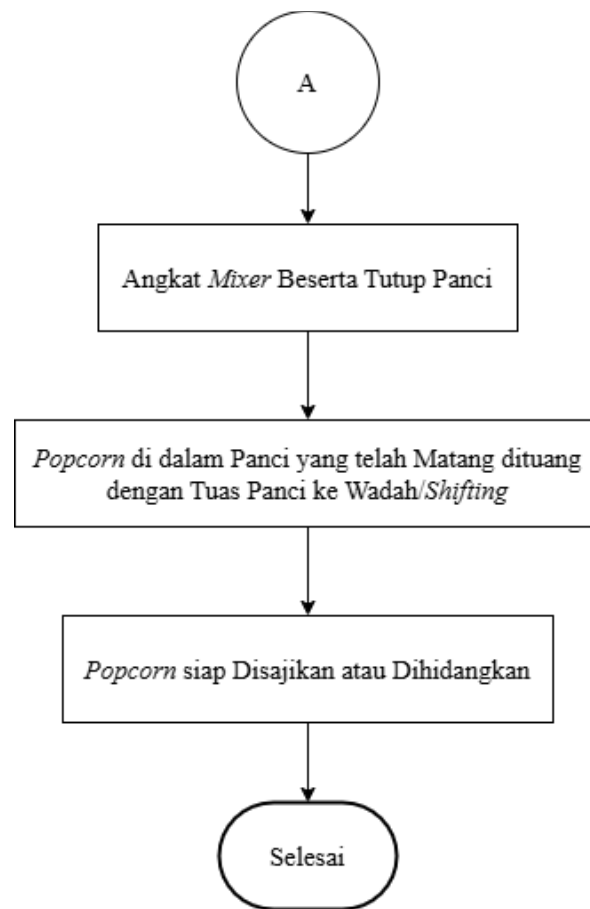
popcorn dikeluarkan dari panci dan dibiarkan mendingin, siap untuk dikemas atau disajikan.

Keunggulan mesin ini adalah kapasitas produksinya yang tinggi, cocok untuk kebutuhan komersial, serta otomatisasi penuh yang memudahkan pengoperasian. Bahannya yang terbuat dari *stainless steel* menjamin kebersihan dan ketahanan. Namun, kelemahannya meliputi investasi awal yang tinggi, konsumsi energi yang besar, kerumitan komponennya serta ukuran yang cukup besar sehingga membutuhkan ruang yang luas. Perawatan berkala juga diperlukan untuk menjaga performa optimal mesin.

2.3 Proses Pembuatan Berondong Jagung

Proses pembuatan berondong jagung terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pemanasan bahan baku jagung, pencampuran jagung dengan minyak/mentega ditambah perasa, pencampuran jagung, pematangan jagung menjadi berondong jagung dan pendinginan berondong jagung. Proses pembuatan berondong jagung dapat dilihat pada diagram alir berikut.





Gambar 2.6 Alur pembuatan berondong jagung

2.4 Panci Pemasakan

Panci pemasakan adalah alat yang digunakan untuk memasak berondong jagung. Panci ini dirancang khusus untuk meletuskan jagung menjadi berondong jagung dengan sempurna dan merata. Panci yang dirancang harus dapat menampung biji berondong jagung yang akan dimasak. Panci yang digunakan harus sesuai dengan standar *food grade*. Mengacu pada ASTM B209, yang menyertakan standar untuk kualitas dan keamanan material yang digunakan dalam mesin makanan. Panci berbahan *Aluminium Alloy 3003* dipilih sesuai dengan ASTM B209 karena sifatnya yang anti karat, kekuatan baik, konduktivitas termal tinggi, ringan, mudah dibersihkan dan tidak reaktif terhadap makanan.

Untuk membuat berondong jagung, ketebalan panci pemasakan yang cocok adalah 2 - 3 mm. Panci Aluminium dengan ketebalan 2 - 3 mm yang dilengkapi dengan impact bottom terbuat dari bahan aluminium disk 3 mm dan protektor 0.5 mm dapat menyimpan panas yang lebih baik dan lebih cepat. Untuk perhitungan sesuai dengan standar yang digunakan yaitu :

- a. Menghitung Kapasitas *Popcorn*: (Sinambela, G. Y. et al. 2022).

$$Q = N \times t$$

Dimana :

- Q = Kapasitas *popcorn* (kg)
 N = Berat jagung mentah (kg)
 t = Jumlah *batch*

- b. Mencari Diameter Panci Pemasakan:

$$d = \pi \times r^2 \times t$$

Keterangan :

- d = Diameter (cm)
 π = 3,14
 r = Jari - jari (cm)
 t = Tinggi panci (cm)

- c. Menghitung Volume *Popcorn*: (Yurila Ernanda, 2017)

$$V_p = N \times 20$$

Dimana :

- V_p = Volume *popcorn* matang
 N = Jagung mentah 2 kg

20 = Pengembangan *popcorn*



Gambar 2.7 Panci pemasakan

2.5 Agitator / Mixer

Agitator atau *mixer* (pengaduk) pada mesin *popcorn* adalah alat yang berputar di dalam panci mesin pembuat berondong jagung. *Agitator* atau *mixer* memiliki beberapa fungsi penting, yaitu :

a. Mengaduk berondong jagung

Agitator atau *mixer* mengaduk berondong jagung secara terus menerus selama proses pemanasan. Hal ini membantu memastikan berondong jagung matang merata dan tidak gosong.

b. Mencegah berondong jagung menempel

Agitator atau *mixer* membantu mencegah *popcorn* menempel di dasar panci. Hal ini membantu menjaga *popcorn* tetap renyah dan tidak lengket.

c. Mempercepat proses pemanasan

Agitator atau *mixer* membantu mempercepat proses pemanasan popcorn dengan menyebarkan panas secara merata di seluruh panci.

d. Meningkatkan hasil *popcorn*

Agitator atau *mixer* membantu meningkatkan hasil *popcorn* dengan memaksimalkan jumlah *popcorn* yang meletus.

Untuk menentukan daya penggerak untuk mengaduk biji jagung pada proses pembuatan *popcorn*, dapat diketahui melalui tahapan dan rumus-rumus sesuai standard ASME sebagai berikut ini :

- a. Menentukan Besar Massa Pengaduk: (Yurila Ernanda, 2017. hal: 46):

$$m = V \times \rho$$

Keterangan :

m = Massa (kg)

V = Volume (m^3)

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

- b. Kecepatan Pengadukan (ω) (Yessica Greselda et al. 2023):

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

Di mana:

ω = Kecepatan pengadukan (rad/s)

n = Jumlah putaran (rpm)

t = Waktu (s)

- c. Menghitung Gaya Normal (N) (Yessica Greselda et al. 2023):

$$N = m \times g$$

Di mana :

M = Massa (kg)

g = Gravitasi (m/s^2)

d. Menghitung Gaya Gesek (F_s): (Clara Dwipuan Munthe et al. 2024)

$$F_s = \mu \times N$$

Di mana :

μ = Koefisien gesek

N = Gaya normal (N)

e. Menentukan besar Torsi yang bekerja (T) yaitu: (Yessica Greselda et al. 2023):

$$T = F \times l$$

Di mana:

T = Torsi (N·m)

F = Gaya yang dibutuhkan (N)

l = Panjang lengan (m)



Gambar 2.8 *Agitator atau mixer*

2.6 Motor Servo DC

Motor servo merupakan motor yang mampu mengontrol sistem mekanis secara presisi melalui kemampuan *feedback loop* yang dimilikinya. DC Servo Motor disebut sebagai motor DC karena memakai tenaga listrik arus searah atau *Direct Current* (DC)

sebagai daya untuk menggerakkan rotor dengan tegangan sebesar 48 V. Servo motor DC digunakan sebagai penggerak dalam pengadukan biji jagung selama proses pemasakan, memastikan pengaduk (*mixer*) bekerja sesuai dengan RPM yang diinginkan. Berikut adalah perhitungan yang dapat diperoleh, yaitu :

- a. Menentukan Daya yang Dibutuhkan (Yesica Greselda et al, 2023)

$$P = \frac{T \times 2 \times \pi \times n}{60}$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

T = Torsi atau Momen Puntir (Nm)

n = Kecepatan motor yang direncanakan (rpm)

π = (3,14)

- b. Menghitung Daya Rencana (Sularso, 1997. hal: 4):

$$P_d = F_c \times P$$

Dimana:

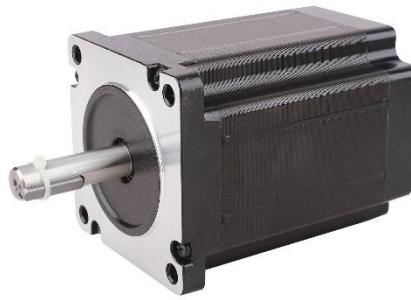
P_d = Daya Rencana (kW)

F_c = Faktor Koreksi

P = Daya Nominal Motor Penggerak (kW)

Tabel 2.1 Faktor Faktor Koreksi Daya dan Transmisi

Daya yang akan ditransmisikan	F _c
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimal yang diperoleh	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0- 1,5



Gambar 2.9 *Servo motor DC*

2.8 Poros

Poros merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi sebagai penerus putaran dari motor penggerak menuju ke elemen yang digerakkan. Penerus putaran tersebut dapat menggunakan kopling, puli, dan roda gigi. Dengan demikian poros akan terjadi tegangan geser akibat adanya momen puntir atau torsi (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004).

Perhitungan rencana poros yang digunakan pada mesin pembuat berondong jagung skala komersial dengan kapasitas 2 kg/*batch* tergantung pada ukuran mesin dan tipe motor penggerak yang digunakan.

2.8.1 Jenis-Jenis Poros

Berdasarkan fungsi poros untuk meneruskan daya diklasifikasikan menurut pembebanannya sebagai berikut:

1. Poros Transmisi

Poros ini mempunyai fungsi utama untuk mentransmisikan daya melalui kopling, roda gigi, rantai, dan sebagainya, sehingga mendapat beban puntir dan lentur.



Gambar 2.10 Poros transmisi

2. *Spindle*

Poros yang pendek , seperti poros utama mesin perkakas, beban utamanya adalah puntir. Syarat yang harus di penuhi poros ini adalah deformasi yang terjadi harus kecil, bentuk dan ukurannya harus teliti.



Gambar 2.11 *Spindle*

3. Gandar

Poros ini di pasang antara roda – roda kereta api, tidak mendapat beban puntir dan tidak berputar. Gander ini hanya mendapat beban lentur, kecuali bila di gerakan oleh penggerak mula, maka poros akan mengalami beban puntir.



Gambar 2.12 Gandar

4. Poros

Poros yang ikut berputar untuk memindahkan daya dari mesin ke mekanisme yang di gerakan. Poros ini mendapatkan beban puntir murni dan lentur.



Gambar 2.13 Poros

5. Poros Fleksibel

Poros yang berfungsi untuk memindahkan daya dari dua mekanisme, dimana putaran poros dapat membentuk sudut dengan poros lainnya, daya yang di pindahkan biasanya kecil.



Gambar 2.14 Poros fleksibel

Tabel 2.2 Standar baja paduan untuk poros

Standar dan Macam	Lambang	Perlakuan Panas	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)
Baja Khrom Nikel (JIS G4102)	SNC 2	-	85
	SND 3	-	95
	SNC 21	Pengerasan Kulit	80
	SNC 22		100
	SNCM 1	-	85
Baja Khrom Nikel Molibden (JIS G4103)	SNCM 2	-	95
	SNCM 7	-	100
	SNCM 8	-	105
	SNCM 22	Pengerasan Kulit	90
	SNCM 23		100
Baja Khrom (JIS 4104)	SNCM 25	-	120
	SCR 3	-	90
	SCR 4	-	95
	SCR 5	-	100
	SCR 21	Pengerasan Kulit	80
Baja Khrom Nikel (JIS 4103)	SCR 22		85
	SCM 2	-	85
	SCM 3	-	95
	SCM 4	-	100
	SCM 5	-	105
	SCM 21	Pengerasan Kulit	85
	SCM 22		95
	SCM 23	-	100

2.8.2 Material Poros

Material poros bisa dibuat dari bahan berikut : baja karbon atau baja paduan. Contoh bahan paduan untuk poros : ASME 1347, 3140, 4150, 4340, 5145, 8650 dsb. Yang biasa di sebut bahan komersial. Bila diperlukan pengerasan permukaan, maka perlu dipakai baja yang di karburising, misalnya ASME : 1020, 1117, 2315, 4320, 8620, atau G4102, G4103, G4104, dan sebagainya.

Untuk poros – poros yang memiliki bentuk sulit seperti : poros engkol, maka sebaiknya memakai besi cor.

2.8.3 Tegangan Geser dan Diameter Poros

- a. Daya Yang Direncanakan (Sularso, 1997. hal: 4):

$$P_d = F_c \cdot P$$

Dimana :

P_d = Daya rencana (kW)

P = Daya (kW)

f_c = Faktor koreksi daya yang ditransmisikan

- b. Momen Puntir (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004)

$$T = 9,74 \times 10^5 \times (P_d/n_1)$$

Dimana :

T = Momen puntir (Nm)

n_1 = Putaran poros (rpm)

- c. Tegangan Geser yang Diijinkan (Sularso, 2002):

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{s f_1 \times s f_2}$$

Dimana :

τ_a = Tegangan yang diizinkan (kg/mm²)

σ_B = Kekuatan tarik bahan (kg/mm²)

Tabel 2.3 Faktor Keamanan Standar Baja

Nilai Koreksi		Keterangan
Sf₁	5,6	Dipakai untuk bahan SF
	6,0	Dipakai untuk bahan SC
Sf₂	1,3 - 3,0	Mengantisipasi pengaruh pasak

(Sularso dan Kiyokatsu Suga,2004)

d. Diameter poros yang dibutuhkan (Falikhul Ibriza et al, 2022):

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau \alpha} \times Kt \times Cb \times T \right]^{1/3}$$

Dimana :

ds = diameter poros (mm)

ta = tegangan geser yang diijinkan (N.m)

Kt = faktor koreksi momen puntir

*1,0 jika beban dikenakan halus

*1,0 – 1,5 jika beban terjadi sedikit kejutan atau tumbukan

*1,5 – 3,0 jika beban dikenakan dengan kejutan atau tumbukan besar

Cb = faktor koreksi untuk kemungkinan terjadinya beban lentur, dimana untuk perkiraan sementara ditetapkan bahwa beban hanya terjadi karena momen puntir saja, dan diperkirakan tidak akan terjadi pembebanan lentur, sehingga harga Cb ini diambil sebesar 1,0 - 2,3.

T = Momen puntir (Nm).

Tabel 2.4 Standar baja

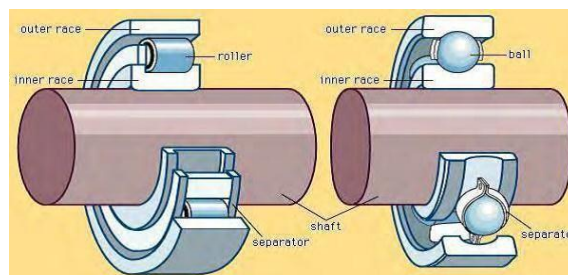
Nama	Standar Jepang (JIS)	Standar Amerika (AISI) Standar Inggris (BS) Standar Jerman (DIN)
Baja Karbon	S2	AISI 1025, BS060A25
Konstruksi	5C	
Mesin	S2	AISI 1030, BS060A30
	5C	
	S2	AISI 1035, BS060A35, DIN C35
	5C	AISI 1040, BS060A40
	S2	AISI 1045, BS060A45, DIN C45
	5C	AISI 1050, BS060A50, DIN St50.11
	S2	AISI 1055, BS060A55
	5C	
	S2	
	5C	
	S2	
	5C	
Baja Tempa	SF 40, 45, 50 55	ASTM A105-73
Baja Nikel	SNC	BM 653M31

Tabel 2.4 Lanjutan

	SNC22	BS En36
Baja Khrom Molibden	SNCM 1	AISI 4337 BSS30M31 AISI 8445,BS En100D
	SNCM 2	AISI 4340, BS 8171M40, 816M40 AISI 4315
	SNCM 7	AISI 4320, BS En 325
	SNCM 8	BS En39B
	SNCM 22	
	SNCM 23	
	SNCM 25	
Baja Khrom	SCR 3	AISI 5135, BS530A36
	SCR 4	AISI 5140, BS530A40
	SCR 5	AIAI 5145
	SCR 21	AISI 51115
	SCR 22	AISI 5120
Baja Khrom Molibden	SCM 2	AISI 4130, DIN34CrMo4
	SCM 3	AISI 4135, DIN34CrMo4,BS798A37 AISI
	SCM 4	4140, DIN 42CrMo4,BS708M40AISI 4145,
	SCM 5	DIN50CrMo4

2.9 Bantalan

Bantalan merupakan elemen mesin yang digunakan untuk menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umur. Perencanaan bantalan disesuaikan dengan beban yang bekerja pada poros tersebut, sehingga poros dapat bekerja dengan baik

**Gambar 2.15** Bantalan (*bearing*)



Gambar 2.16 *Pillow block bearing P-205*

Bantalan yang digunakan dalam mesin pembuat berondong jagung skala komersial dengan kapasitas 2 kg/*batch* dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Berdasarkan gerakan bantalan terhadap poros
2. Bantalan gelinding
3. Bantalan luncur
4. Berdasarkan arah beban terhadap poros
5. Bantalan radial
6. Bantalan aksial
7. Bantalan gelinding khusus

Data bantalan dan ukuran bantalan dapat diketahui dengan persamaan berikut.

Bantalan Merk SKF Jenis UCP 206/H

Data bantalan:

Diameter lubang (d)	=	30 mm
Diameter luar (D)	=	45 mm
Lebar cincin (B)	=	14 mm
Kapasitas nominal bantalan dinamis (C)	=	1988,45 kg
Kapasitas nominal bantalan statis (C ₀)	=	1142,08 kg

Tabel 2.5 Dimensi

d	30 mm	Diameter lubang
d1	≈ 39.7 mm	Diameter bahu ring bagian dalam
A	45 mm	Lebar alas
A1	27 mm	Lebar atas
B	38.1 mm	Lebar ring bagian dalam
B ₄	5 mm	Jarak dari sisi muka perangkat pengunci ke pusat ulir
H	42.9 mm	Tinggi pusat dudukan bulat
H1	16.5 mm	Tinggi alas
H2	83.5 mm	Tinggi keseluruhan
J	121 mm	Jarak antar baut pengikat
J	maks. 125 mm	Jarak maksimum antar baut pengikat
J	min. 117 mm	Jarak minimum antar baut pengikat
L	165 mm	Panjang keseluruhan
N	17 mm	Diameter lubang baut pengikat
N1	21 mm	Panjang lubang baut pengikat
s ₁	22.2 mm	Jarak dari sisi muka perangkat pengunci ke pusat jalur sambungan

Tabel 2.6 Data Kalkulasi

Nilai beban dinamis dasar	C	19.5 kN = 1988,45 kg
Nilai beban statis dasar	C ₀	11.2 kN = 1142,08 kg
Batas beban fatik	P _u	0.475 kN = 48,43 kg
Kecepatan batas		5 000 r/min
		Kecepatan batas dengan toleransi poros h6

1. Beban Ekuivalen Dinamis

Beban ekuivalen dinamis adalah suatu beban yang memberikan umur yang sama dengan umur yang diberikan oleh beban dan kondisi putaran yang sebenarnya, maka nilai $V = 1$, harga faktor $X = 0,56$, dan $Y = 2$. (Niemen, 1992). Beban ekuivalen dinamis dihitung dengan rumus (Khurmi, R.S. and Gupta, J.K. (2005). *a Textbook of Machine Design*)

$$Pr = X \cdot V \cdot Wr + Y \cdot Wa$$

Dimana :

Pr = beban ekuivalen dinamis (kg)

X = faktor beban radial

V = faktor putaran

Wr = beban radial (kg)

Y = faktor beban aksial

Wa = beban aksial (kg)

Adapun beberapa faktor yang diperhatikan dalam perencanaan bantalan ini yaitu :

a. Faktor Kecepatan Putaran Bantalan (f_n) (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004):

$$f_n = \left| \frac{33,3}{n} \right|^{1/3}$$

Dimana :

f_n = Faktor kecepatan putaran

n = Putaran

b. Menghitung Beban Dinamis

Diketahui data dari perhitungan putaran mesin dan beban ekivalen yaitu :

$Pr = 6,6 \text{ kg}$

$n = 25 \text{ rpm}$

$L_h = 5000$

Dengan menggunakan rumus beban dinamis, maka dapat menghitung beban dinamis dari data yang sudah didapat sebagai berikut :

$$f_h = f_n \frac{C}{P}$$

$$C = Pr \times \frac{f_h}{f_n}$$

c. Faktor Umur Bantalan (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004):

$$f_h = f_n \frac{C}{P}$$

Dimana :

f_n = Faktor kecepatan putaran

f_h = Faktor umur

C = Beban normal spesifik (kg)

P = Beban ekivalen dinamis (kg)

d. Faktor Keandalan Umur Bantalan (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004):

$$L_n = a_1 \times a_2 \times a_3 \times L_h$$

Dimana :

L_n = Faktor Keandalan Umur Bantalan

a_1 = Faktor Keandalan (Tabel 4.4) yaitu $a_1 = 1$ bila keandalan 90% dipakai seperti biasanya atau 0,21 bila keandalan 99% dipakai.

a_2 = Faktor Bahan yaitu jika $a_2 = 1$ untuk bahan baja bearing yang dicairkan secara terbuka, dan kurang lebih = 3 untuk baja bearing de gas hampa.

a_3 = Faktor Kerja yaitu jika $a_3 = 1$ untuk kondisi kerja normal, dan kurang 1 untuk hal-hal berikut ini:

- Bearing bola, dengan pelumasan minyak berviskositas 13 (cSt) atau kurang.
- Bearing rol, dengan pelumasan minyak berviskositas 20 (cSt) atau kurang.
- Kecepatan rendah, yang besarnya sama dengan atau kurang dari 10000 rpm dibagi diameter jarak bagi elemen gelinding.

Tabel 2.7 Faktor keandalan bantalan

Faktor Keandalan (%)	L_n	a_1
90	L_{10}	1
95	L_5	0,62
96	L_4	0,53
97	L_3	0,44
98	L_2	0,33
99	L_1	0,21

e. Umur Nominal Bantalan (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004):

$$L_h = 500 \times f_h^3$$

Dimana :

L_h = Umur nominal bantalan (jam)

f_h = Umur bantalan

Tabel 2.8 Standar nominal umur bantalan

2000 - 4000	5000 - 15000	20000 - 30000	40000 - 60000
Pemakaian jarang	Pemakaian Sebentar-sebentar (tidak terus menerus)	Pemakaian terus- menerus	Pemakaian terus- menerus dengan keandalan tinggi

2.10 *Single Burner Gas Stove* (Kompore Gas)

Single Burner Gas Stove atau disebut kompor gas satu tungku pada mesin pembuat berondong jagung adalah komponen inti yang berfungsi sebagai sumber panas utama. Komponen ini dirancang khusus untuk menghasilkan panas yang cukup untuk memanaskan minyak dan biji jagung hingga mencapai suhu yang tepat sehingga biji jagung meletus menjadi berondong jagung yang renyah.

Fungsi Utama Kompore Gas pada Mesin Pembuat Berondong Jagung yaitu:

a. Memanaskan Minyak

Kompore gas akan memanaskan minyak yang ada di dalam wajan mesin *popcorn*. Minyak yang panas ini akan mentransfer panas ke biji jagung.

b. Membuat Biji Jagung Meletup

Panas dari kompor gas akan menyebabkan kandungan air dalam biji jagung berubah menjadi uap, sehingga biji jagung mengembang dan meletus menjadi berondong jagung.

c. Menjaga Suhu Optimal

Kompore gas yang baik akan mampu menjaga suhu minyak agar tetap konstan, sehingga proses pembuatan berondong jagung berjalan optimal dan

menghasilkan produk yang berkualitas.

Analisis termodinamika (thermal) berkaitan dengan jumlah perpindahan panas saat sistem mengalami proses dari satu keadaan kesetimbangan ke keadaan kesetimbangan lainnya. Ilmu yang mempelajari penentuan laju perpindahan energi tersebut adalah perpindahan panas. Perpindahan energi sebagai panas selalu dari medium bersuhu tinggi ke medium bersuhu rendah, dan perpindahan panas berhenti saat kedua medium mencapai suhu yang sama. Panas dapat dipindahkan dalam tiga mode berbeda: konduksi, konveksi, dan radiasi. Semua mode perpindahan panas memerlukan adanya perbedaan suhu, dan semua mode berasal dari medium bersuhu tinggi ke medium bersuhu rendah (Yunus A, Cengel. (1997). *'Heat Transfer: A Practical Approach Second Edition'*).

Fokus dari Mesin Pembuat Berondong Jagung ini adalah perpindahan panas yang terdiri dari konduksi dan konveksi alamiah (yaitu secara natural dan terbagi menjadi konveksi vertikal, horizontal, dan transien). Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan energi dari partikel zat yang lebih berenergi ke partikel yang kurang berenergi di dekatnya sebagai hasil interaksi antarpartikel. Konduksi dapat terjadi pada zat padat, cair, atau gas. Pada gas dan cair, konduksi terjadi karena tumbukan dan difusi molekul selama gerakan acaknya. Pada zat padat, konduksi terjadi karena kombinasi getaran molekul dalam kisi dan perpindahan energi oleh elektron bebas. Laju konduksi panas melalui media bergantung pada geometri media, ketebalannya, dan bahan media, serta perbedaan suhu di seluruh media. Diketahui bahwa membungkus tangki air panas dengan wol kaca (bahan isolasi) mengurangi laju kehilangan panas dari tangki. Semakin tebal isolasi, semakin kecil kehilangan panas.

Diketahui juga bahwa tangki air panas akan kehilangan panas pada tingkat yang lebih tinggi ketika suhu ruangan tempat tangki tersebut berada diturunkan. Lebih jauh, semakin besar tangki, semakin besar pula luas permukaannya dan dengan demikian tingkat kehilangan panasnya pun akan semakin tinggi (Yunus A, Cengel. (1997). '*Heat Transfer: A Practical Approach Second Edition*'). Pada mesin pembuat berondong jagung, energi panas dari kompor gas dipindahkan secara langsung ke panci pemasakan sehingga pada panci tersebut mengalami panas yang mengakibatkan biji jagung meledak dan matang menjadi *popcorn*.

Perpindahan panas secara konduksi dapat dihitung dengan rumus (Frank P. Incropera et al. (2006). '*Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition*'. John Wiley & Sons, Inc.) :

$$q = -kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} = -\frac{\Delta T}{\Delta x / kA}$$

Keterangan:

q = Laju perpindahan panas konduksi (W)

A = Luas permukaan aliran panas (m²)

k = Konduktivitas thermal bahan (W/m°C)

$\frac{dT}{dx}$ = Gradien suhu pada penampang atau perubahan suhu T (°C)

Terhadap jarak x (m)

Selanjutnya perpindahan panas konveksi alamiah (*natural convection*) adalah cara perpindahan energi yaitu terjadinya perpindahan panas karena fluida yang berubah densitasnya karena proses pemanasan dan bergerak naik. Antara permukaan padat dan cairan atau gas di sebelahnya yang sedang bergerak, dan melibatkan efek

gabungan dari konduksi dan gerakan fluida. Semakin cepat gerakan fluida, semakin besar perpindahan panas konveksi alamiah. Jika tidak ada gerakan fluida massal, perpindahan panas antara permukaan padat dan fluida di sebelahnya terjadi melalui konduksi murni. Adanya gerakan massal fluida meningkatkan perpindahan panas antara permukaan padat dan fluida, tetapi juga mempersulit penentuan laju perpindahan panas (Yunus A, Cengel. (1997). '*Heat Transfer: A Practical Approach Second Edition*'). Pada mesin pembuat berondong jagung terjadi konveksi secara alamiah, dimana panas yang ditimbulkan oleh panci mengakibatkan fluida di dalam panci menjadi panas dan udara panas ini bergerak secara naik turun dari permukaan bawah dalam panci mendorong ke atas menyentuh dinding permukaan dalam tutup panci yang kemudian bersirkulasi kembali turun ke bawah, hal ini tentu sebagai aliran transient di dalam panci dan aliran fluida panas ini memindahkan panas ke biji jagung sehingga biji jagung meledak dan matang menjadi *popcorn*.

Perpindahan panas secara konveksi alamiah pada panci (plat datar) dapat dihitung dengan rumus (Frank P. Incropera et al. (2006). '*Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition*'. John Wiley & Sons, Inc.) :

$$Q = U.A.\Delta T$$

Keterangan :

Q = Laju perpindahan kalor konveksi, (W)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m²K)

A = Luas penampang perpindahan panas

T_w = Temperatur ambient api kompor (°K)

T_∞ = Temperatur fluida panci (°K)



Gambar 2.17 Kompor satu tungku

Tabel 2.9 Spesifikasi kompor

Fitur	Detail
Tipe	Kompor gas satu tungku, <i>low pressure</i> (tekanan rendah)
Material	Bodi terbuat dari besi cor (<i>cast iron</i>), beberapa model dilapisi <i>powder coating</i>
Ignition	<i>Piezo ignition</i> (pemantik otomatis tanpa korek api)
Burner	<i>Double-ring burner</i> , juga dikenal sebagai fitur “Api Seribu” nyala api kecil dan merata
Api	Api besar dan stabil, cocok untuk masak cepat dan kapasitas besar
Konsumsi Gas	Sekitar 9,8 kW/h
Dimensi Produk	$\pm 58 \times 33 \times 13$ cm
Berat	± 5.63 kg (volume berat ± 8.8 kg)
Diameter Burner	Sekitar ± 32 cm

2.11 *Liquefied Petroleum Gas* (LPG)

Liquefied Petroleum Gas (LPG) adalah gas hidrokarbon yang dicairkan dengan tekanan untuk memudahkan penyimpanan, pengangkutan, dan penanganannya. Gas LPG dengan senyawa 30% Propana dan 70% Butana sebagai bahan bakar memiliki sifat yang mudah terbakar jika terjadi persenyawaan di udara. Pembakaran yang dihasilkan dapat menjadi energi panas (Kurniawan dan Tjahjadi, 2016). Di samping itu 1 kg LPG dapat menghasilkan energi panas sebesar 46,6 MJ (Anggraini, Riesta et

al., 2019).

Pada kebutuhan gas yang dipakai pada mesin pembuat berondong jagung ini dengan asumsi gas LPG yang digunakan pemasakan berondong jagung maka jumlah energi panas yang digunakan untuk pemasakan berondong jagung adalah:

$$Q_{total} = Q_{konduksi} + Q_{konveksi}(vertikal + horizontal + transien)$$

Kemudian menghitung berat gas terpakai setelah mengetahui Q_{total} dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$Berat\ gas\ LPG\ terpakai = \frac{Total\ energi\ memasak\ (KJ)}{Energi\ per\ 1\ kg\ gas\ LPG\ (KJ)}$$



Gambar 2.18 Gas *LPG* 3 kg

2.12 Sensor

Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan fisik di lingkungan sekitarnya dan mengubah perubahan tersebut menjadi sinyal yang dapat diukur atau diinterpretasikan oleh sistem elektronik (seperti mikrokontroler, *PLC*, komputer, dll).

Fungsi utama sensor adalah sebagai alat input dalam sistem otomatisasi atau kontrol, di mana ia mengumpulkan data dari lingkungan dan mengirimkan informasi tersebut ke sistem pengendali untuk diproses.

2.12.1 *Limit Switch Sensor*

Limit Switch (atau saklar batas) adalah jenis sensor mekanis yang bekerja dengan mendeteksi posisi atau pergerakan suatu objek (biasanya bagian mesin atau benda kerja) dan mengubahnya menjadi sinyal listrik.

a. Cara Kerja:

Ketika suatu benda (misalnya lengan robot atau bagian mesin) menyentuh tuas atau aktuator dari *limit switch*, maka saklar di dalamnya akan berubah posisi (*ON/OFF*). Perubahan ini bisa digunakan sebagai sinyal untuk menghentikan, memulai, atau mengubah arah mesin.

b. Fungsi dan Penggunaan:

- Menentukan posisi akhir atau batas pergerakan suatu sistem.
- Mencegah *overtravel* (pergerakan melebihi batas) dalam mesin otomatis.
- Digunakan dalam *elevator*, konveyor, CNC, sistem pintu otomatis, dll.

c. Ciri Khas *Limit Switch*:

- Umumnya berbentuk kotak kecil dengan tuas atau plunger.
- Sangat andal di lingkungan industri karena tahan terhadap kondisi ekstrem.
- Output biasanya berupa sinyal digital: *ON* (tertutup) atau *OFF* (terbuka).

2.13 *Microcontroller*

REX-C100 bukanlah sebuah *microcontroller* murni, melainkan sebuah modul kontroler suhu digital mandiri (*standalone digital temperature controller*). Perangkat ini dirancang khusus untuk melakukan satu tugas utama: mengatur dan menjaga suhu

suatu sistem agar tetap stabil sesuai dengan nilai yang diinginkan (disebut *Setpoint*).

Secara esensial, REX-C100 berfungsi sebagai otak dari sebuah sistem pemanas atau pendingin. Ia membaca suhu aktual dari sensor, membandingkannya dengan suhu target, dan secara cerdas memutuskan tindakan apa yang harus dilakukan oleh elemen pemanas/pendingin (misalnya tungku, *heater*, atau *peltier*) untuk menghilangkan selisih suhu (*error*).

2.13.1 Prinsip Kerja/Kontrol *PID*

Kecerdasan REX-C100 terletak pada algoritma kontrol yang digunakannya, yaitu *PID* (*Proportional, Integral, Derivative*). Algoritma ini jauh lebih superior dibandingkan kontrol ON/OFF sederhana karena kemampuannya mengatur output secara presisi untuk menghindari *overshoot* (suhu melebihi target) dan menjaga stabilitas dalam jangka panjang.

Cara kerja kontrol *PID* pada REX-C100 dapat diuraikan menjadi tiga bagian utama:

- *Input* (Masukan): REX-C100 menerima data suhu aktual dari sensor eksternal. Sensor yang umum digunakan adalah Termokopel (*Thermocouple* tipe K, J, dll.) atau RTD (*Resistance Temperature Detector*, misal Pt100). Nilai suhu yang terbaca ini disebut *Process Value* (PV) dan ditampilkan pada layar *display*.
- Proses (Kontrol *PID*): Di dalam perangkat, mikrokontroler internalnya akan terus-menerus melakukan kalkulasi berdasarkan tiga komponen PID:
 1. *Proportional* (P): Memberikan aksi kontrol yang sebanding (proporsional) dengan besar *error* saat ini ($\text{Error} = \text{Setpoint} - \text{PV}$). Semakin besar selisihnya, semakin besar pula output yang diberikan.

Ini adalah komponen reaksi utama.

2. *Integral (I)*: Mengakumulasi *error* dari waktu ke waktu. Komponen ini bertujuan untuk menghilangkan *steady-state error*, yaitu kondisi di mana suhu stabil sedikit di bawah atau di atas *setpoint*. Komponen integral akan terus "mendorong" output hingga *error* menjadi nol.
 3. *Derivative (D)*: Memprediksi *error* di masa depan dengan melihat laju perubahan suhu. Komponen ini berfungsi sebagai "rem" untuk mencegah *overshoot*. Jika suhu naik terlalu cepat mendekati *setpoint*, komponen derivatif akan mengurangi output untuk memperlambat laju kenaikan.
- *Output (Keluaran)*: Berdasarkan hasil kalkulasi *PID*, REX-C100 akan mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat aktuatornya. Tipe output yang paling umum untuk proyek mahasiswa adalah SSR (*Solid State Relay*). SSR adalah saklar elektronik tanpa bagian bergerak yang dapat dinyalakan dan dimatikan dengan sangat cepat. REX-C100 akan mengirimkan sinyal tegangan rendah (misalnya 12 VDC) ke SSR, yang kemudian akan menyambungkan
 - atau memutuskan aliran listrik tegangan tinggi (220 VAC) ke elemen pemanas.



Gambar 2.19 *Microkontroler* REX-C100