

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perencanaan Sistem Pengendalian Proses

Pengendalian proses didefinisikan sebagai suatu usaha untuk mengatur proses yang dinamis agar berjalan sesuai dengan yang telah ditetapkan sebelumnya atau dikendaki. Istilah pengendalian proses timbul ketika manusia belajar memakai prosedur yang berkenaan dengan pengaturan otomatis untuk membuat produk dengan cara yang lebih efisien (Meidinariasty,2016). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa pengendalian proses merupakan pengendalian otomatis yang diterapkan di bidang teknologi proses untuk menjaga kondisi proses agar sesuai dengan yang diinginkan. Seluruh komponen yang terhimpun dalam pengendalian proses disebut sistem pengendalian atau sistem kontrol. Sistem pengendalian harus dapat mengukur, membandingkan dan mengevaluasi.

2.1.1 Faktor-Faktor yang Mendasari Perancangan Pengendalian

Faktor-faktor yang mendasari perancangan pengendalian proses adalah Keamanan, Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), Spesifikasi Produk, Batasan Operasi, Ekonomi dan Peraturan Lingkungan (Meidinariasty, 2016).

1. Keamanan, Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Pengoperasian yang aman dari suatu industri merupakan kebutuhan utama untuk keberadaan pekerja di industri dan keberlanjutan pengembangan ekonomi industri. Sehingga tekanan operasi, temperatur, dan laju aliran didalam pipa harus berada dalam batas yang diizinkan

2. Spesifikasi Produk

Sebuah industri harus dapat memproduksi jumlah dan kualitas produk sesuai yang diinginkan.

3. Batasan Operasi

Peralatan yang digunakan di industri mempunyai batasan operasi yang harus dipertahankan selama proses produksi. Tujuannya agar peralatan yang dipergunakan secara aman dalam waktu lama.

4. Ekonomi

Pengoperasian suatu industri harus sesuai dengan kondisi pasar, yaitu keberadaan

bahan baku dan permintaan produk. Kondisi operasi harus dikendalikan agar dapat menggunakan biaya operasional seminimal mungkin namun tetap menghasilkan keuntungan.

5. Peraturan Lingkungan

Peraturan lingkungan membatasi jumlah limbah yang dapat dibuang ke atmosfer, sungai maupun permukaan tanah. Pengendalian terhadap *effluent* dapat membatasi dan memonitor pembuangan limbah.

2.1.2 Syarat Sistem Pengendalian Proses

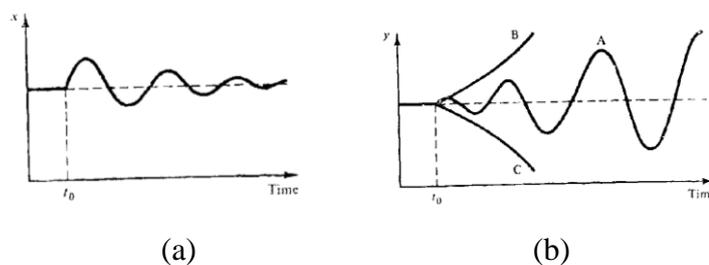
Umumnya ada tiga syarat yang harus dipenuhi oleh sebuah sistem pengendalian agar pengendalian dapat berjalan dengan baik.

1. Menekan Pengaruh Gangguan dari Luar

Tujuan paling umum dari pengendalian adalah menekan gangguan dari luar yang berarti efek dari lingkungan terhadap unit proses seperti reaktor, separator, penukar panas dan sebagainya diluar kendali operator sehingga memerlukan mekanisme pengendalian yang memberikan perubahan yang diperlukan proses.

2. Memastikan Kestabilan Proses

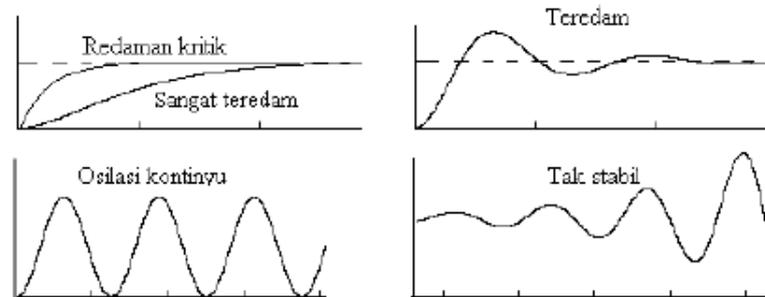
Suatu proses yang dinamis akan selalu mengalami perubahan yang dapat berakibat pada kestabilan proses. Respon kestabilan proses ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Respon Pengendalian Stabil (a) dan Tidak Stabil (b)
Sumber : Johnson, 1997.

Tanggapan transien sistem pengendalian menentukan apakah proses masih dapat tergolong stabil atau tidak, karena seringkali beban dapat berubah secara acak tergantung sistem proses dan lingkungannya. Idealnya nilai variabel proses oasti akan selalu terkendali menuju *set point* namun pada praktiknya kondisi demikian jarang terjadi. Variabel proses dapat mengalami beberapa perubahan,

yaitu sangat teredam (*overdamped*), redaman kritis (*critacally damped*), teredam (*underdamped*), osilasi kontinu (*sustained oscillation*) atau tidak stabil (Heriyanto, 2010). Perubahan tanggapan transien ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perubahan Tanggapan Transien
Sumber: Heriyanto, 2010

3. Mengoptimalkan Kinerja Proses

Misalkan pada suatu reaksi endotermis didalam reaktor berjaket terjadi perubahan zat A menjadi B. apabila suplai panas ke jaket maka produk B tidak akan dihasilkan, sedangkan apabila suplai panas berlebih maka kemungkinan zat akan rusak. Sehingga diperlukan sistem pengendalian yang dapat mengukur temperatur reaksi dan jumlah panas yang harus disuplai ke jaket reaktor sehingga perhitungan ekonomis konversi zat A jadi B optimal.

2.2 Prinsip Pengendalian Proses

Pengendalian proses melibatkan keadaan memperhatikan / mengukur parameter kemudian membandingkannya dengan harga yang diinginkan dan melakukan tindakan agar parameter tersebut sama atau mendekati harga yang diinginkan. Harga pengukuran merupakan harga variabel proses yang berubah-ubah selama proses berlangsung, harga pengukuran disebut dengan *control point*, sedangkan harga yang diinginkan merupakan harga variabel proses yang telah ditetapkan pada awal proses dan disebut *set point*. (Meidinariasty, 2016).

Sebuah sistem pengendalian pada dasarnya terdiri dari 7 bagian yang saling berhubungan membentuk diagram sistem pengendalian proses.

1. Proses Kimia
2. Instrumen pengukur (sensor)

Contohnya : termokopel untuk mengukur temperatur dan venturimeter untuk mengukur laju alir.

3. Transduser

Transduser merupakan alat perubahan besaran fisik menjadi besaran fisik lainnya. Alat pengukur biasanya digabung dengan transduser karena banyak pengukuran yang tak dapat digunakan untuk pengendalian sebelum diubah jadi besaran fisik seperti sinyal pneumatik dan arus listrik.

4. Jalur Transmisi

Jalur transmisi digunakan untuk membawa sinyal pengukuran dari alat pengukur ke *controller*. Jalur transmisi pada umumnya adalah sinyal listrik.

5. *Controller*

Controller berfungsi untuk menerima informasi dari alat pengukur kemudian menentukan tindakan apa yang harus dilakukan.

6. Elemen Kontrol Akhir

Elemen Kontrol Akhir merupakan perangkat sistem pengendalian yang mengeksekusi perintah dari *controller* ke proses sebenarnya. Contohnya, apabila *controller* memutuskan bahwa laju aliran keluar dikurangi fluida di dalam tangki maka katup kontrol akan terbuka atau tertutup sesuai perintah *controller*.

7. Alat perekam

Alat perekam digunakan untuk memperlihatkan bagaimana suatu proses berlangsung.

2.2.1 Karakteristik Pengendalian Proses

Sebelum pengendalian tersebut dilakukan, tujuan pengendalian haruslah ditetapkan terlebih dahulu. Misalnya pada pemanasan fluida cair didalam tangki maka tujuan pengendalian adalah mempertahankan temperatur fluida cair didalam tangki. Untuk mendapatkan tipe pengendali yang sesuai harapan maka perancangan pengendali harus memiliki beberapa karakteristik yang harus dipenuhi, yaitu (Yohandri,2016):

1. Proses

Secara umum, suatu proses dapat terdiri dari suatu rakitan kompleks, kejadian yang menghubungkan beberapa urutan produksi atau pembuatan. Ada proses yang bervariasi tunggal dimana hanya ada satu variabel yang akan dikendalikan. Sebaliknya ada proses multi variabel dimana variabel cukup banyak yang mungkin bisa berkaitan satu sama lain dan membutuhkan regulasi.

2. Pengukuran

Untuk dapat mengontrol suatu variabel dinamis dalam proses maka harus didapatkan informasi dari variabel itu sendiri. Transduser adalah alat yang dipakai untuk melakukan pengukuran awal dan sekaligus mengkonversi energi dari variabel dinamis menjadi informasi listrik yang analog.

Pengukuran yang dapat dilakukan langsung pada variabel yang ingin diukur atau dikendalikan disebut **Pengukuran Primer**. Apabila pengukuran tidak dapat dilakukan pada variabel yang ingin diukur dan membuat suatu hubungan matematis maka disebut **Pengukuran Sekunder**.

3. Memilih variabel yang dimanipulasi

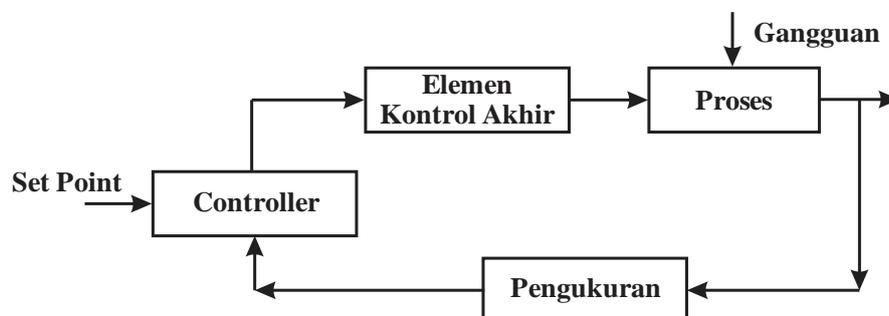
Setelah pengendalian diterapkan, maka pemilihan variabel manipulasi dengan mudah dan aman dapat berakibat langsung pada proses yang dikendalikan. Contohnya, pemanasan fluida cair ditangki dengan koil pemanas berisi *steam*, maka variabel manipulasi yang dipilih berupa laju aliran *steam*.

4. Memilih Konfigurasi Pengendalian

Konfigurasi pengendalian didefinisikan sebagai susunan informasi yang digunakan untuk menghubungkan pengukuran kepada variabel yang dimanipulasi. Secara umum ada tiga jenis konfigurasi pengendalian, yaitu :

A. Konfigurasi Sistem *Feedback*

Dalam sistem ini hasil pengukuran akan diumpan balikkan ke *controller*. Hasil yang diukur adalah hasil dari proses (contohnya: *liquid* dalam tangki) yang kemudian diumpan balikkan ke *controller* untuk memberikan harga pengendalian baru agar keluaran proses sama atau mendekati harga *set point*. Konfigurasi ini ditunjukkan pada Gambar 2.3.

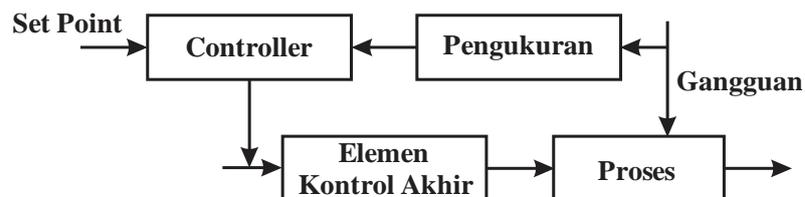


Gambar 2.3 Konfigurasi *Feedback*

Sumber : Meidinariasty, 2016

B. Konfigurasi Sistem *FeedForward*

Pada konfigurasi ini, masukan yang datang keproses berupa gangguan akan diukur kemudian hasil pengukuran akan diberikan pada *controller* yang nantinya melakukan evaluasi dan memberikan perintah kepada elemen kontrol akhir sebelum efek gangguan dirasakan oleh proses. Konfigurasi ini ditunjukkan pada Gambar 2.4

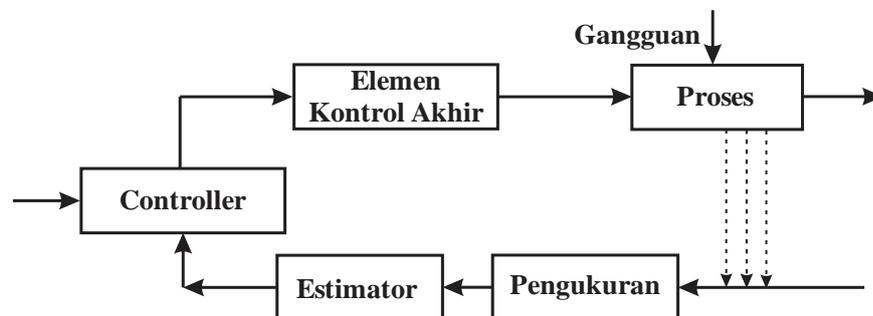


Gambar 2.4 Konfigurasi *Feedback*

Sumber : Meidinariasty, 2016

C. Konfigurasi Sistem Inferensial

Pengendalian dengan sistem ini menggunakan pengukuran sekunder untuk mengukur pengubah kendalinya. Pengukuran sekunder ialah pengukuran yang dilakukan tidak secara langsung pada pengubah sasaran operasional, tapi pada pengubah lainnya yang mempunyai korelasi dengan sasaran operasionalnya. Konfigurasi ini ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Konfigurasi *Inferensial*

Sumber : Meidinariasty, 2016

2.2.2 Parameter Sistem Pengendalian Proses

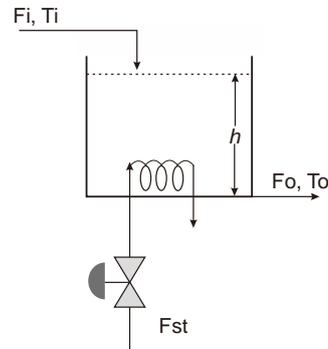
Parameter sistem pengendalian proses dibagi menjadi dua, yaitu parameter proses dan parameter kontrol.

1. Parameter Proses

Parameter Proses merupakan karakteristik yang bukan diakibatkan oleh adanya pengendalian. Parameter proses terbagi menjadi empat bagian, yaitu persamaan proses, beban proses, kelambatan proses dan regulasi diri.

A. Persamaan Proses

Persamaan proses adalah himpunan seluruh variabel dinamis yang terlibat dalam suatu proses yang dikendalikan. Parameter proses disimulasikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Penentuan Persamaan

Input proses berupa laju alir masuk (F_i), Temperatur masuk (T_i), Laju alir steam masuk (F_{st}), laju alir keluar tangki (F) dan temperatur keluar tangki = temperatur dalam tangki (T). pengendalian bertujuan mengendalikan temperatur dalam tangki, maka dari itu dapat dituliskan persamaan,

$$T = f(F_i, T_i, F_{st}, F)$$

B. Beban Proses

Beban proses didefinisikan sebagai suatu usaha proses untuk membawa harga perubahan kembali ke harga set point. Hal ini ditinjau dari keadaan dimana suatu proses pengendalian telah mencapai kestabilan (set point telah dicapai), kemudian variabel dinamis dalam persamaan proses (kecuali variabel manipulasi) mengalami perubahan. Namun perlu diperhatikan, apabila setelah proses mencapai kestabilan (set point tercapai), kemudian set point tersebut diubah maka proses tidak dianggap mengalami beban.

C. Kelambatan proses

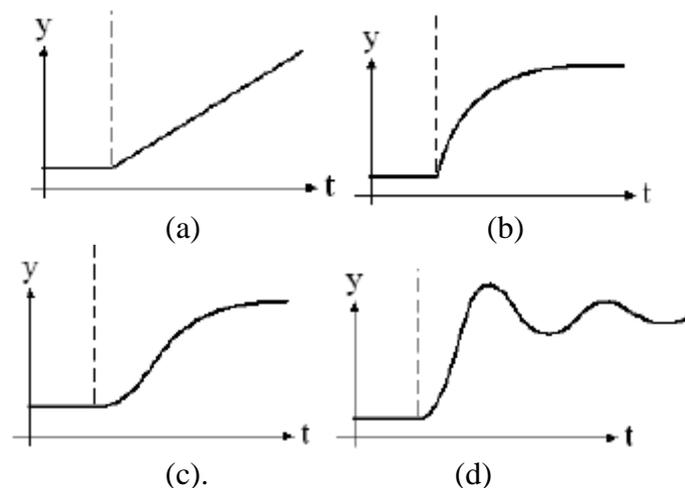
Kelambatan proses didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh proses untuk membawa perubahan kembali ke harga set point. Pada gambar 2.6 diatas, saat temperatur masuk turun, maka temperatur dalam tangki kemudian juga akan turun, respon *controller* adalah dengan membuka katup control steam lebih besar lagi. Waktu mulai dari temperatur tangki berubah naik oleh aliran

steam baru hingga temperatur set point kemudian tercapai disebut kelambatan proses.

D. Regulasi diri

Regulasi diri adalah kecenderungan suatu proses untuk stabil pada suatu harga perubahan baru tanpa diperlukannya suatu pengendalian. Pada saat laju alir masuk (F_i) = laju alir keluar (F_o) dan Temperatur masuk (T_i) konstan maka dengan F_{st} tertentu akan didapat T_o tertentu. Apabila kemudian T_i berubah maka T_o juga berubah. Kenaikan temperatur pada akhirnya akan stabil pada harga temperatur baru. Proses yang mampu stabil sendiri pada harga baru tanpa dilakukan pengendalian adalah proses yang mempunyai regulasi diri.

Sistem yang tidak memiliki regulasi diri maka keluaran secara kontinyu akan naik atau turun pada kemiringan tetap hingga mencapai batas sistem. Respon sistem yang bereaksi cepat pada saat awal kemudian kemiringannya mengecil hingga akhirnya nol, sehingga tercapai kondisi *steady state* disebut sistem dengan regulasi diri orde satu. Sistem dengan regulasi orde dua sangat teredam memiliki cirri khas dimana respon lambat diawal, namun perlahan akan mencapai kondisi *steady state* seperti orde satu. Respon sistem yang diidentifikasi memiliki *overshoot* dan diikuti osilasi dengan amplitude berangsur mengecil disebut sistem regulasi diri orde dua teredam (Heriyanto, 2010). Respon sistem ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. (a) respon tanpa regulasi (b) respon regulasi orde-1 (c) respon regulasi orde-2 sangat teredam (d) respon regulasi orde-2 teredam
Sumber: Heriyanto, 2010

2. Parameter Kontrol

Parameter Kontrol adalah variabel dinamis yang berhubungan dengan *controller* sebagai pengendali suatu pengendalian. Parameter kontrol terdiri dari:

- A. Rentang variabel kontrol yaitu rentang harga tertinggi dan terendah. Misalkan rentang pengukuran adalah 0°C – 100°C maka rentang ini oleh transduser akan menjadi 4 mA atau 20 mA (sinyal listrik) yang berarti 0°C sebanding dengan 4 mA dan 100°C sebanding dengan 20 mA.
- B. Error adalah selisih antara harga pengukuran terhadap harga set point, yang dalam bentuk sederhana dinyatakan sebagai error (E) = harga pengukuran (Cm) – harga set point (Csp). Persamaan tersebut menyatakan error sebagai persen dalam keadaan absolut untuk sinyal analog.
- C. *Output controller* yaitu gerak minimum dan maksimum dari elemen kontrol akhir. *Output controller* sebanding dengan rentang *controller* namun dalam presentase 0 – 100%. Persamaan matematis untuk presentase keluaran kontrol dinyatakan sebagai berikut,

$$\%P = \frac{\text{sinyal control} - \text{sinyal minimum}}{\text{rentang sinyal}} \times 100\%$$

- D. Kelambatan kontrol didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan oleh *controller* untuk melakukan perubahan yang diperlukan bagi pengendalian proses.
- E. Waktu mati adalah waktu dimana tidak terjadi gerakan ataupun gerakan pengendalian. Waktu mati terjadi saat *controller* mendeteksi adanya error dari pengukuran terhadap set point, *controller* kemudian memberikan *output controller* ke elemen kontrol akhir yang akan memberikan perubahan terhadap proses, namun karena letak yang jauh dari elemen control akhir ke proses, perubahan tidak langsung diterima oleh proses sehingga transduser terlambat memberikan harga pengukuran.
- F. Sikling adalah osilasi kesalahan (error) di daerah rentang set point, yang berarti variabel pengukuran berapa pada siklus maksimum dan minimum di daerah rentang set point.

2.2.3 Mode Pengendali

Mode pengendali dibagi menjadi dua, yaitu mode tidak kontinyu dan mode kontinyu.

1. Mode Tidak Kontinyu, merupakan mode tidak kontinyu merupakan mode pengendali yang berubah secara bergantian antara dua kondisi yaitu *on* dan *off*.

A. Mode On-Off

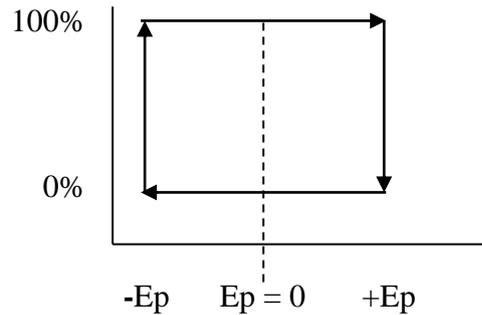
Mode On-Off Manual. Pada pengendali on/off secara manual, manusia sebagai operator akan menggerakkan elemen control akhir (saklar pemilir). Dalam hal ini manusia bertindak sebagai *controller* yang menerima hasil pengukuran dan mengevaluasi hasil pengukuran untuk menjadi input bagi variabel manipulasi.

Mode On-Off Otomatis. Pengendalian on/off secara otomatis berarti pengendalian dilakukan oleh sebuah *controller* yang akan menggantikan tindakan operator menghidupkan ataupun mematikan suatu proses. Pengendalian secara otomatis ini diatur berdasarkan histerisis; kecenderungan instrument untuk memberikan output berbeda terhadap input yang sama. Histerisis ini memberikan daerah netral pengendalian, besar daerah netral adalah 2 kali besar harga histerisis. *Controller* pada mode ini hanya mengeluarkan dua harga output berdasarkan error yang terjadi. Secara matematis persamaannya dapat ditulis berikut ini:

$$\% P = 100 \% \text{ ketika } \% E_p < 0 \%$$

$$\% P = 0 \% \text{ ketika } \% E_p > 0 \%$$

Hubungan diatas menyatakan saat harga pengukuran dibawah harga set point (harga $\% E_p =$ negatif) maka *controller* akan memerintah elemen kontrol akhir untuk bergerak maksimum, sedangkan saat harga pengukuran berada di atas harga set point (harga $\% E_p =$ positif) maka *controller* akan memerintah elemen kontrol akhir untuk bergerak minimum. Pada Pengendalian dua posisi ini, elemen kontrol akhir begerak hanya pada dua posisi, yaitu 0 % dan 100 % atau minimum dan maksimum sepanjang rentang kontrol diantara harga set point. Daerah netral adalah daerah rentang pengukuran dimana pengendali tidak melakukan gerakan atau tidak memberi perintah gerakan kepada elemen kontrol akhir. Daerah netral ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Daerah Netral

B. Mode Tiga Posisi

Metode tiga posisi merupakan perbaikan dari mode dua posisi atau mode on/off yang hanya mempunyai dua posisi elemen kontrol akhir.

2. Mode Pengendali Kontinyu

Berlainan dengan mode pengendali tidak kontinyu (on/off) yang memberikan harga output dalam keadaan terputus-putus dan tidak halus yaitu 0% menjadi 100% menjadi 0% secara berulang, maka mode pengendali kontinyu memberikan harga output perubahan yang mulus pada setiap perubahan beban (error). Mode pengendali kontinyu pada dasarnya dibagi 3 jenis yaitu mode pengendali proporsional, mode pengendali integral dan mode pengendali derivatif. Pada aplikasinya, ketiga mode pengendali ini sering digabung untuk meningkatkan hasil pengendalian dan mengurangi kekurangan mode tunggal (Aditya, 2015).

A. Mode Proporsional

Mode Proporsional merupakan mode perbaikan dari pengendali dua posisi (on/off) dimana terdapat hubungan garis lurus yang mulus antara output dan error yang terjadi. Pada rentang error di dekat setpoint, setiap harga error mempunyai hubungan linier yang mencakup output pengendalian dari 0% - 100% yang disebut pita proporsional (Proportional Band).

Kelemahan dari mode proporsional apabila digunakan tunggal adalah kecenderungan pengendali untuk mengalami offset, yaitu error residu di sekitar daerah setpoint. Pada keadaan ini *controller* (pengendali) mengalami gangguan tidak dapat memberikan output yang seharusnya, pengendali hanya memberikan output yang sama walau error bertambah.

B. Mode Integral

Mode pengendali integral disebut juga mode reset karena pengendali bergerak dengan cepat mengembalikan beban kembali ke error nol (setpoint). Pada aplikasinya output *controller* akan menggerakkan elemen control akhir dengan cepat dan memeperkecil error, kemudian elemen control akhir akan memperlambat gerakan dan sistem kemudian membawa error ke nol (re-set). Apabila terdapat process lag yang besar, error akan berosilasi di daerah nol dan menyebabkan sikling yang akan membuat *controller* jenuh. Mode integral tidak digunakan secara tunggal melainkan digabung dengan mode proporsional atau gabungan ketiganya.

C. Mode Derivatif

Pada mode derivatif, output dari *controller* tergantung pada laju perubahan error. Mode ini sering disebut juga mode antisipasi atau mode laju. Mode derivatif memperbaiki / mempercepat respon terhadap sistem control dan memberikan efek menstabilkan proses. Respon terhadap laju perubahan menghasilkan koreksi yang berarti sebelum error semakin besar (antisipasi error) terutama untuk sistem control yang perubahan bebannya terjadi secara tiba –tiba, karena mode melawan perubahan – perubahan yang terjadi dalam output *controller* sehingga efeknya menstabilkan loop tertutup dan meredam osilasi yang terjadi.

D. Mode Gabungan

Mode gabungan adalah mode pengendali yang menggabungkan mode proporsional dengan mode integral dan mode derivatif (PI, PD, maupun PID). Penggabungan ini mengurangi offset dan memberikan harga keluaran baru saat terjadi *offset*, mestabilkan sistem dan mencegah error konstan. Penggabungan ini akan menghasilkan pengendalian yang sempurna.

2.3 Sensor

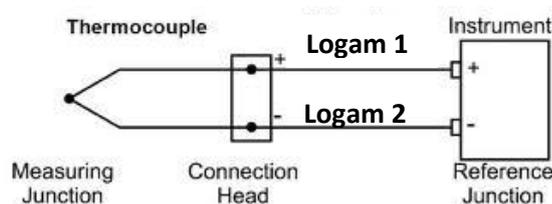
Sensor adalah adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran mekanis, magnetis, panas, sinar, dan kimia menjadi besarn listrik berupa tegangan, resistansi dan arus listrik. *Sensor* sering digunakan untuk pendeteksian pada saat melakukan pengukuran atau pengendalian. Sharon, dkk (1982), mengatakan sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu

energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya.

2.3.1 Sensor Suhu Termokopel

Pengukuran suhu suatu benda atau zat diperlukan elemen perasa yang dapat mendeteksi perubahan suhu. Dalam mengetahui besarnya suhu secara kuantitatif umumnya digunakan termometer. Namun selain pengukuran secara langsung dan tradisional, biasanya digunakan sebuah sensor untuk mendeteksi perubahan suhu ini (Huda, 2011).

Salah satu elemen pendeteksi atau sensor suhu yang umumnya sering digunakan adalah termokopel. Termokopel berasal dari kata “Thermo” yang berarti panas “Couple” yang berarti pertemuan dari dua buah benda. Sebuah termokopel terdiri dari sepasang konduktor atau kawat logam yang berbeda dihubungkan bersama-sama yang menghasilkan tegangan berbanding lurus dengan perbedaan suhu antara kedua ujung pasangan konduktor (Yuniar, 2014). Rangkaian umum dari termokopel ditunjukkan pada Gambar 2.9.



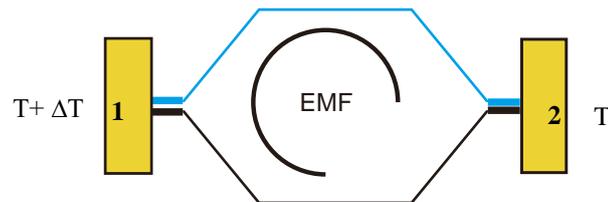
Gambar 2.9 Rangkaian dasar Termokopel
Sumber: Dermanto, 2013. Prinsip Dasar Termokopel

2.3.2 Prinsip Operasi Termokopel

Metode listrik yang paling umum digunakan untuk pengukuran suhu adalah termokopel. Termokopel bekerja berdasarkan efek termoelektrik yang terdiri dari efek seebeck, Thompson dan Peltier.

1. Efek Seebeck

Efek Seebeck menyatakan bahwa suatu arus yang sangat kecil akan mengalir melalui sebuah rangkaian konduktor yang memiliki perbedaan temperatur. Hal ini disebut efek termoelektrik. Efek seebeck digambarkan sesuai Gambar 2.10.



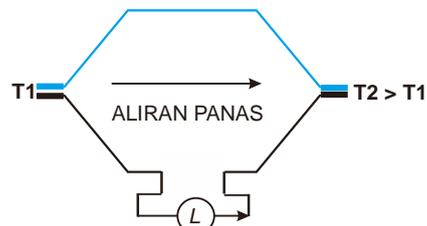
Gambar 2.10 Efek Seebeck

Sumber : Yuniar, 2014.

Dari Gambar 2.8 dapat diuraikan cara kerja efek seebeck adalah pada titik(1) temperaturnya akan lebih panas disbanding titik (2) Dengan menggunakan efek ini, energy panas dapat dikonversi menjadi energy listrik. Pada umumnya, tegangan yang terbentuk biasanya dalam *microvolt* untuk setiap perubahan Celcius.

2. Efek Peltier

Efek peltier berlawanan dengan efek seebeck, pada efek ini menyatakan bahwa akan muncul perbedaan temperature yang diakibatkan adanya tegangan. Hal ini muncul saat arus dilewatkan melalui dua semikonduktor yang berbeda yang dihubungkan dikedua ujungnya pada sebuah *junction*. Arus menyebabkan terjadinya perpindahan panas antar *junction*. Salah satu *junction* akan dingin sedangkan yang lain akan naik. Efek peltier digambarkan sesuai gambar 2.11.



Gambar 2.11 Efek Peltier

Sumber : Yuniar, 2014.

3. Efek Thompson

Efek ini menyebutkan bahwa kandungan panas pada suatu konduktor akan berubah searah dengan gradient temperature pada saat dialiri arus. Bila terdapat gradient suhu pada salah stu atau kedua bahan, tge sambungan akan mengalami perubahan. Ada 3 macam tegangan gerak elektrik (tge) yang terdapat dalam rangkaian termoelektrik.

- Tge Seebeck disebabkan oleh logam yang tidak sama
- Tge Peltier disebabkan oleh arus yang mengalir didalam rangkaian
- Tge Thompson disebabkan oleh adanya gradient suhu pada bahan

Tegangan Gerak Elektrik Termoelektrik biasa dinyatakan dalam potensial. Konfigurasi standar tertentu dari termokopel yang digunakan. Contohnya diberikan pada Tabel 2.1 masing-masing tipe mempunyai aplikasinya tersendiri (Yuniar, 2014).

Tabel 2.1. Termokopel Standar

Tipe	Material Penyusun	Rentang Pengukuran Suhu (°C)
J	Besi – konstantan	-190 – 760
T	Tembaga – konstantan	-200 – 371
K	Khrom - alumel	-190 – 1260
E	Khrom – konstantan	-100 – 1260
S	90% platina + 10% rhodium-platina	0 – 1482
R	87% platina + 13% rhodium-platina	0 – 482

Sumber : Yuniar, 2014.

2.3.3 Macam-macam *Measuring Junction* pada Termokopel

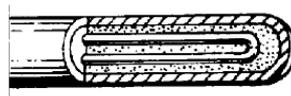
Selain tipe-tipe termokopel, detektor yang digunakan pada termokopel juga dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. *Exposed Junction*, sering digunakan untuk pengukuran yang statis atau untuk pengukuran suhu gas non-korosif dimana waktu respon harus minimal. *Junction* dilapisi oleh insulasi logam untuk memberikan respon pengukuran yang lebih baik. Insulasi selubung berguna untuk mencegah penetrasi kelembaban yang disebabkan oleh gas. (Gambar 2.12)



Gambar 2.12 *Exposed Junction*

2. *Underground Junction*, sering digunakan untuk pengukuran suhu gas dan cairan yang korosif baik dalam kondisi statis maupun dinamis. Termokopel dengan kawat las terhubung dengan selubung yang diisi serbuk Magnesium oksida. (Gambar 2.13)



Gambar 2.13 *Underground Junction*

3. *Grounded Junction*, sering digunakan untuk pengukuran suhu gas dan cairan yang korosif baik dalam kondisi statis maupun dinamis dan juga

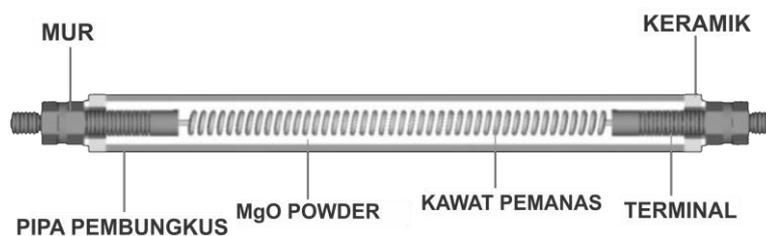
dapat diaplikasikan pada kondisi yang bertekanan tinggi. *Junction* dilas tepat dibawah insulasi pelindung, dapat memberikan respons pengukuran lebih cepat. (Gambar 2.14)



Gambar 2.14 *Grounded Junction*

2.4 Elemen Pemanas

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energy listrik menjadi energy panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen pemanas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen. Berikut merupakan bagian dalam elemen pemanas ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Bagian dalam Elemen Pemanas

Sumber : Agustanto, 2012

Persyaratan elemen pemanas antara lain (Rahmat, 2015): (1.) Harus tahan lama pada suhu yang dikehendaki, (2.) Sifat mekanisnya harus kuat pada suhu yang dikehendaki, (3.) Koefisien muai harus kecil, dan (4.) Tahanan jenisnya tinggi.

Tubular heater merupakan elemen pemanas listrik dimana gulungan koil *resistance wire* dimasukkan ke dalam pipa dan di cor bersama-sama bubuk isolator (*MgO powder*) yang berkemampuan meneruskan panas dan isolator listrik yang baik, sehingga arus listrik tidak menembus dan mengalir pada pipa pembungkusnya, proses pengecorannya dilakukan dengan menggunakan mesin isi (*filling machine*) yang dirancang sedemikian rupa. Material pipa atau *tubing* yang digunakan sebagai pembungkus atau selongsong *tubular heater* ini biasanya disesuaikan dengan tujuan penggunaan heater tersebut, misalnya untuk memanaskan udara, air, cairan kimia dan lainnya. Pada umumnya bahan yang

sering digunakan adalah: Stainless Steel 304, Stainless Steel 316, Incoloy, Tembaga, Titanium.

Resistance Wire yang digunakan adalah kawat tahanan yang dimensinya disesuaikan dengan daya yang diminta, dimana kawat ini tahan pada suhu kerja maksimal 1300°C. Isolator tahan panas yang digunakan sebagai pengikat dan pembatas antara pipa dan kawat tahanan adalah bubuk MgO yang mempunyai titik cair 2900°C.

Perancangan Elemen Pemanas

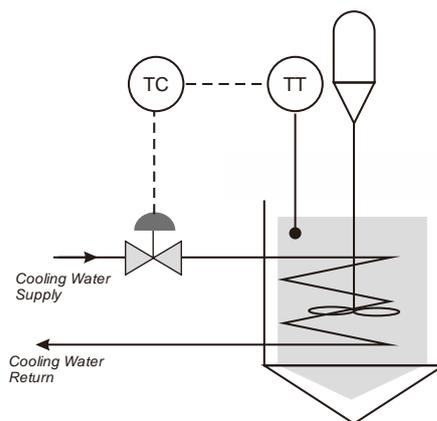
Elemen pemanas listrik didefinisikan sebagai kombinasi dari kawat pemanas, berbagai elemen penunjang dan elemen penghubung. Penerapan aplikasi elektrikal. Penggunaan sehari-hari biasanya diterapkan pada penanak nasi, pengeringan, *ironing* dan lainnya. Penerapan elemen pemanas harus memenuhi persyaratan mulai dari budget bahan baku dan pengembangan sampai jangka waktu hidup dan keamanan. Sebelum merancang elemen pemanas sebaiknya ditentukan terlebih dahulu jenis/bentuk heater yang dikehendaki, serta spesifikasi heater merupakan hal terpenting dalam perencanaan atau design. Beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam merancang pemanas, yaitu (Agustanto, 2012):

- Bahan / material media yang akan dipanaskan.
- Suhu operasi
- Kandungan kimia media yang akan dipanaskan.
Kondisi lingkungan dimana heater ini akan di tempatkan.
- Power listrik yang tersedia.
- Dimensi ruang penempatan *heater*

Dalam perancangan elemen pemanas listrik juga diperlukan beberapa pertimbangan diantaranya menentukan jenis wire yang dipakai, menghitung banyaknya kawat lilitan dan panjang kawat niklin sesuai dengan spesifikasi heater yang diperlukan, menghitung resistansi, *surface load*, *cross sectional area* dan *coil pitch*.

2.5 Sistem Pengendalian Temperatur

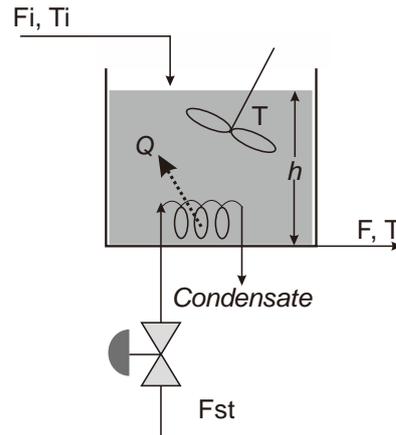
Susunan informasi pengendalian suatu proses dapat digambarkan dalam sebuah diagram pengendalian proses yang menghubungkan ke 4 tahapan pengendalian, mulai dari proses, pengukuran evaluasi hingga elemen control akhir. Diagram pengendalian proses digambarkan sesuai ketentuan P&ID (*piping and Instrument Drawing*), yaitu ketentuan penggambaran jalur pipa dan instrumen. Skema pengendalian temperatur diilustrasikan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Skema Pengendalian temperatur

Pada Gambar 2.16, sebuah reaktor dengan reaksi eksotermis diaduk dengan baik dan temperatur dikendalikan dengan menggunakan aliran air pendingin (*cooling water*). Variabel yang dikontrol adalah temperatur sebagai variabel dinamis yang diukur kemudian dibandingkan dengan temperatur reaksi yang diinginkan. Apabila temperatur terukur lebih tinggi dari temperatur reaksi seharusnya (karena reaksi bersifat eksotermis) maka pengendali (TC, Temperatur *Controller*) akan memerintahkan katup aliran air pendingin agar membuka lebih besar agar aliran air pendingin yang masuk melalui pipa pendingin lebih banyak untuk menurunkan temperatur reaksi.

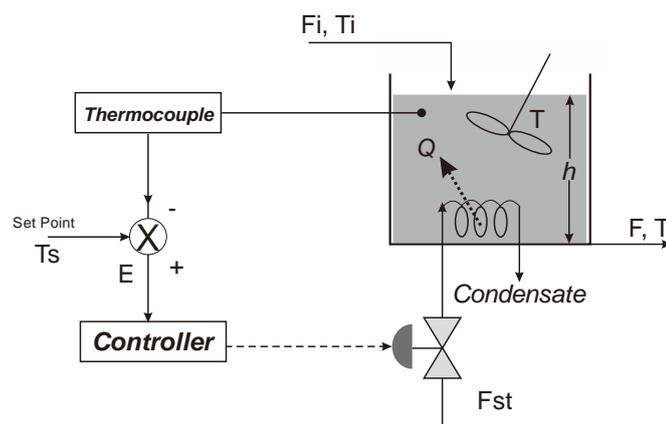
Sebuah simulasi pengendalian pemanas pada tangki berpengaduk pada Gambar 2.17, dimana liquid masuk ke tangki dengan laju alir F_1 (mL/menit) dan temperatur, T_i ($^{\circ}\text{C}$) yang dipanaskan dengan dengan laju pemanasan F_s (kg/menit). Laju alir dan temperatur keluar tangki adalah F dan T .

Gambar 2.17 *Stirred Tank* Reaktor

Tangki dikondisikan mengalami pengadukan dengan baik, yang berarti temperatur effluent sama dengan temperatur liquid dalam tangki. Tujuan operasional pengendalian di tangki adalah :

- Menjaga temperatur effluent T pada harga yang diinginkan, T_{sp}
- Menjaga volume liquid di tangki pada volume yang diinginkan, V_s

Operasi tangki dengan pemanas ini diganggu oleh factor eksternal seperti laju alir dan temperatur umpan, F_i dan T_i . apabila tak ada variabel yang berubah (proses stabil), maka setelah didapat $T = T_s$ dan $V = V_s$ sistem dibiarkan tanpa dikontrol. Namun hal ini jelas tidak mungkin, karena T_i dan F_i sering berubah, sehingga aksi pengendalian perlu diberlakukan untuk mengurangi akibat perubahan gangguan dan menjaga T dan V pada harga yang diinginkan. Sesuai pada Gambar 2.18 aksi pengendalian suhu.



Gambar 2.18 Aksi Pengendalian Suhu

Sebuah termokopel mengukur temperatur liquid T dalam tangki, yang kemudian dibandingkan dengan temperatur yang diinginkan, T_{sp} menghasilkan

deviasi $E = T_s - T$. harga deviasi E kemudian dikirim ke mekanisme pengendalian yang kemudian memutuskan apakah yang harus dilakukan agar temperatur T kembali ke harga yang diinginkan yaitu T_s . Jika $E > 0$ berarti $T < T_s$ maka *controller* akan memerintah pemanas untuk menyuplai panas dan sebaliknya. Sistem pengendalian ini mengukur variabel temperatur setelah temperatur tersebut melalui proses, dan disebut **sistem pengendalian *FeedBack***. Harga yang diinginkan, T_s disebut sebagai **Set Point** yang diberikan oleh operator.

Alternatif lain adalah menggunakan **sistem pengendalian *FeedForward*** untuk mempertahankan $T = T_s$ saat T_i berubah. T_i diukur kemudian katup pemanas dibuka atau ditutup untuk memberikan atau mengurangi jumlah steam ke proses. Pada sistem pengendalian ini aksi pengendalian tidak menunggu hingga efek gangguan terasa oleh proses, melainkan bergerak sebelum efek gangguan terasa oleh sistem, sehingga disebut pengendalian antisipasi.

Prinsip pengendalian suhu tersebut di atas berlaku umum untuk semua pengendalian proses umpan balik. Di sini terdapat empat fungsi dasar, yaitu: mengukur (*measurement*), membandingkan (*comparision*), menghitung (*computation, decision, atau evaluation*) dan mengoreksi (*correction atau action*). Instrumen yang diperlukan dalam pengendalian suhu adalah unit pengukuran suhu (berisi sensor dan *transmitter* suhu), pengendali suhu (*temperatur controller*) dan elemen pemanas (*heating element*).

2.6 Mikrokontroler

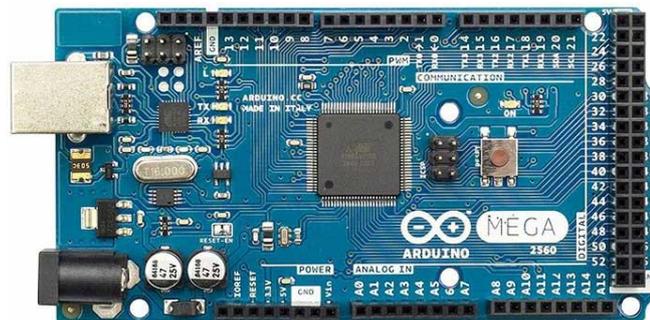
Mikrocontroller adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output. Dengan kata lain, *mikrocontroller* adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. *Mikrocontroller* memiliki kemampuan untuk dapat diprogram dan digunakan untuk suatu proses pengendalian.

Kehadiran *mikrocontroller* tidak terlepas dari dua alasan utama, yaitu kebutuhan pasar (*market needed*) dan perkembangan teknologi baru (*expansion of Technology*). Dimana kebutuhan yang luas dari produk elektronik akan perangkat

pintar yang dapat digunakan sebagai pengendali dan pemroses data. Sedangkan dengan adanya perkembangan teknologi, dengan hanya menggunakan *chip* berukuran kecil namun tetap memiliki kemampuan komputasi yang cepat, konsumsi daya rendah dan harga yang ekonomis. (Wisnu, 2011)

2.6.1 Mikrokontroler Arduino

Mikrocontroller Arduino merupakan *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Arduino merupakan kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih (Santoso,2015). IDE ialah software yang penting untuk menulis program, mengkompilasi menjadi kode biner dan mengupload ke dalam memori mikrocontroller. Arduino memiliki tipe Atmega yang berbeda sesuai dengan spesifikasinya, contohnya Arduino Uno dengan Atmega328 dan Arduino Mega dengan Atmega 2560 yang lebih canggih.



Gambar 2.19 Arduino Mega 2560
Sumber: Santoso, 2015

Dalam suatu rancangan yang melibatkan banyak sensor dan penggeraknya biasanya digunakan Arduino Mega 2560, karena memiliki 54 pin digital input/output (dimana 14 pun dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 16 pin input analog, 2 UARTs (*Hardware Serial Ports*).

2.6.2 Kelebihan *Microcontroller* Arduino

Tujuan dibuatnya Arduino adalah memudahkan pengguna dalam berinteraksi dengan lingkungannya dengan menggunakan mikrocontroller AVR. Arduino dikembangkan dengan prinsip *user friendly* sehingga menghasilkan sebuah *board* Mikrocontroller yang bersifat *open source* yang bisa dipelajari bahkan dikembangkan oleh siapapun. Selain itu ada beberapa kelebihan yang

membuat mikrocontroller Arduino lebih unggul dibandingkan controller lainnya, yaitu:

1. Ekonomis.
2. Sederhana dan bahasa pemrograman yang tidak begitu rumit.
3. Perangkat lunak *open source*
4. Perangkat keras *open source*
5. Memiliki port USB

2.7 Fermentor

Bioreaktor atau dikenal juga dengan nama fermentor adalah sebuah peralatan atau sistem yang mampu menyediakan sebuah lingkungan biologis yang dapat menunjang terjadinya reaksi biokimia dari bahan mentah menjadi bahan yang dikehendaki. Reaksi biokimia yang terjadi di dalam bioreaktor melibatkan organisme atau komponen biokimia aktif (enzim) yang berasal dari organisme tertentu, baik secara aerobik maupun anaerobik. Kendala yang timbul adalah terjadinya kontaminasi selama proses fermentasi terutama apabila sistemnya kontinyu. Rancangan dan konstruksi bioreaktor perlu diperhatikan tentang bejana yang dapat dioperasikan dalam jangka waktu lama, aerasi dan agitasi memadai untuk kelangsungan proses metabolik mikrobia, sistem kontrol Suhu, pH dan penambahan nutrisi.

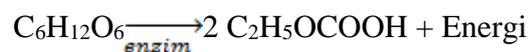
2.8 Fermentasi

Fermentasi merupakan suatu cara untuk mengubah substrat menjadi produk tertentu yang dikehendaki dengan menggunakan bantuan mikroba dalam keadaan aerobic atau anaerobik. Contoh fermentasi aerobik adalah fermentasi asam cuka, sedangkan fermentasi anaerob adalah fermentasi asam laktat atau pembuatan yoghurt atau yakult dan fermentasi alkohol. Gula adalah bahan yang umum dalam fermentasi. Beberapa contoh hasil fermentasi adalah etanol, asam laktat, dan hidrogen. Akan tetapi beberapa komponen lain dapat juga dihasilkan dari fermentasi seperti asam butirat dan aseton. Ragi dikenal sebagai bahan yang umum digunakan dalam fermentasi untuk menghasilkan etanol dalam bir, anggur dan minuman beralkohol lainnya.

Reaksi dalam fermentasi berbeda-beda tergantung pada jenis gula yang digunakan dan produk yang dihasilkan. Secara singkat, glukosa ($C_6H_{12}O_6$) yang merupakan gula paling sederhana, melalui fermentasi akan menghasilkan etanol ($2C_2H_5OH$). Reaksi fermentasi ini dilakukan oleh ragi, dan digunakan pada produksi makanan.

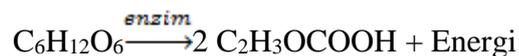
2.8.1 Fermentasi Asam Laktat

Fermentasi asam laktat yaitu fermentasi dimana hasil akhirnya adalah asam laktat. Peristiwa ini dapat dalam kondisi anaerob.

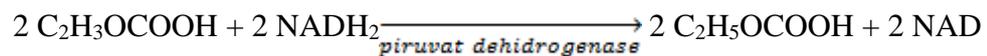


Prosesnya:

1. Glukosa \rightarrow asam piruvat (proses Glikolisis).



2. Dehidrogenasi asam piruvat akan terbentuk asam laktat.



Energi yang terbentuk dari glikolisis hingga terbentuk asam laktat:

$$8 \text{ ATP} - 2 \text{ NADH}_2 = 8 - 2(3 \text{ ATP}) = 2 \text{ ATP}$$

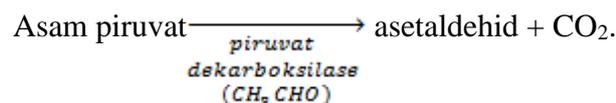
2.8.2 Fermentasi Alkohol

Pada beberapa mikroba peristiwa pembebasan energi terlaksana karena asam piruvat diubah menjadi asam asetat + CO_2 selanjutnya asam asetat diubah menjadi alkohol. Dalam fermentasi alkohol, satu molekul glukosa hanya dapat menghasilkan 2 molekul ATP, dibandingkan dengan respirasi aerob, satu molekul glukosa mampu menghasilkan 38 molekul ATP.

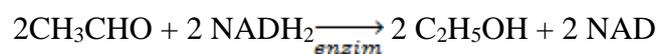
Reaksinya:

1. Gula ($C_6H_{12}O_6$) \rightarrow asam piruvat (glikolisis)

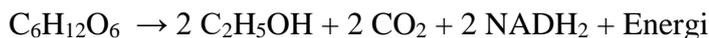
2. Dekarboksilasi asam piruvat.



3. Asetaldehid oleh alkohol dihidrogenase diubah menjadi alkohol (etanol).

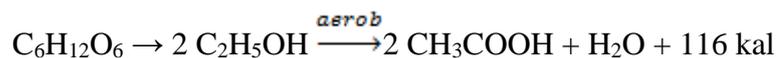


Ringkasan reaksi:



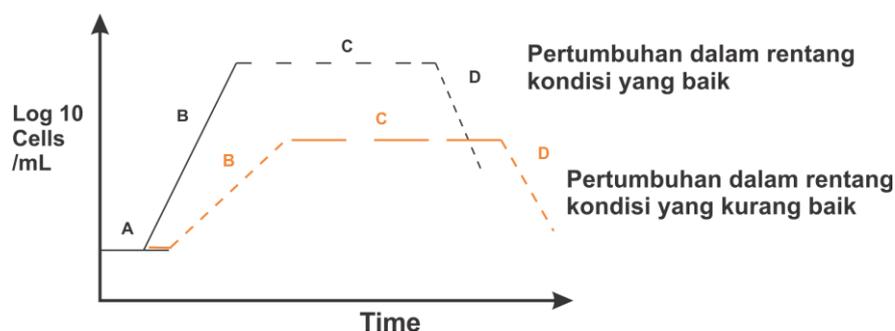
2.8.3 Fermentasi Asam Cuka

Fermentasi asam cuka merupakan suatu contoh fermentasi yang berlangsung dalam keadaan aerob. Fermentasi ini dilakukan oleh bakteri asam cuka (*Acetobacter acetic*) dengan substrat etanol. Energi yang dihasilkan 5 kali lebih besar dari energi yang dihasilkan oleh fermentasi alkohol secara anaerob.



2.9 Pengaruh Temperatur terhadap Pertumbuhan Mikroorganisme

Tingkat pertumbuhan mikroorganisme akan lebih besar dan berkembang pesat apabila kondisi disekitarnya dioptimalkan. Meningkatnya pertumbuhan mikroba juga dapat terlihat dari asupan nutrisi yang didapatkan, namun pertumbuhan ini juga bergantung terhadap beberapa fase sesuai dengan Gambar 2. 20 berikut.



Gambar 2.20 Fase Pertumbuhan Mikroba. (A – Fase Lag, B – Fase Log, C – Fase Stasioner, D – Fase Kematian)

Sumber : *Microorganism and Food*, 2016. Hal 12

Mikroorganisme memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhannya. Faktor yang berpengaruh adalah factor intrinsik dan ekstrinsik. Faktor intrinsik meliputi asupan nutrisi, pH, aktivitas dalam air dan ketersediaan oksigen. Sedangkan ekstrinsik meliputi temperatur, dan kelembaban. Namun faktor-faktor ini tentunya berbeda antara satu spesies mikroba dengan mikroba lainnya.

Temperatur merupakan faktor yang sangat berkaitan dengan pertumbuhan mikroba. Umumnya mikroorganisme akan tumbuh pesat sesuai dengan kondisi optimum yang direferensikan. Berdasarkan kondisi temperatur optimum pertumbuhannya, mikroorganisme dibagi kedalam beberapa klasifikasi, yaitu :

1. Termofil

Termofil merupakan jenis mikroba yang dapat tumbuh pada daerah yang bersuhu tinggi lebih dari 40°C. temperatur optimumnya berkisar 55 – 60°C. mikroba jenis ini sering dijumpai pada sumber air panas, kawah gunung dan geiser. Contohnya *Thermus aquaticus*, *Chloroflexus*.

2. Mesofil

Mikroorganisme yang dapat tumbuh pada suhu 25 – 37°C dengan suhu optimum 32°C. Umumnya hidup didaerah tanah, air bahkan didalam tubuh vertebrata. Contohnya *Saccharomyces cerevisiae* dan *E. Coli*.

3. Psikrofil

Mikroorganisme yang mampu bertahan hidup pada suhu rendah berkisar 0 – 30 °C dengan suhu optimum 15°C. Sering ditemukan di dasar lautan, daerah kutub serta makanan yang didinginkan. Pertumbuhan mikroorganisme ini seringkali menyebabkan penurunan kualitas makanan. Contohnya *Pseudomonas*, *Alcaligenes*.

Pertumbuhan mikroba akan lebih lambat apabila suhu mengalami penurunan atau kenaikan dari rentang suhu optimum. Pertumbuhan mikroba bahkan bisa berhenti ketika berada dibawah nilai minimum atau diatas nilai maksimum. Sesuai dengan Gambar 2.21, apabila suhu terlalu tinggi maka akan memungkinkan bagian utama mikroorganisme terdegradasi, sedangkan pada suhu rendah bagian mikroorganisme tidak hancur hanya saja tidak aktif.



Gambar 2.21 Ilustrasi dari Pengaruh Temperatur dan Waktu terhadap

Pertumbuhan Mikroba

Sumber : *Microorganism and Food*, 2016. Hal 14

Pertumbuhan mikroorganisme berdasarkan suhu optimum dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Suhu Optimum Pertumbuhan Beberapa Mikroba

Spesies	T_{max} (°C)
<i>Kluyveromycesmarxianus</i>	44 – 47
<i>Saccharomyces serevisieae</i>	25 – 37
<i>Candida glabrata</i>	43 – 46
<i>Candida albicans</i>	42 – 46
<i>Pichiaguilliermondii</i>	38 – 43

Sumber : Mycologia *handbook*, 1979