

3

PERANGKAT KERAS SISTIM PENGENDALIAN

Berbagai pertimbangan yang perlu diperhatikan selama merancang sistim pengendalian serta berbagai permasalahannya yang perlu diselesaikan, telah dipelajari di Bab 2. Elemen-elemen fisik (hardware) yang berperan dalam sistim pengendalian (pengendalian proses nyata), akan didiskusikan dalam bab ini.

3.1 Unsur Unsur Perangkat Keras Sistim Pengendalian

Setiap konfigurasi pengendalian terdiri dari unsur-unsur perangkat keras seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.1, terdiri dari: proses kimia, alat ukur, pengubah sinyal (transducer), jalur transmisi, pengendali, alat kendali akhir dan perekam.

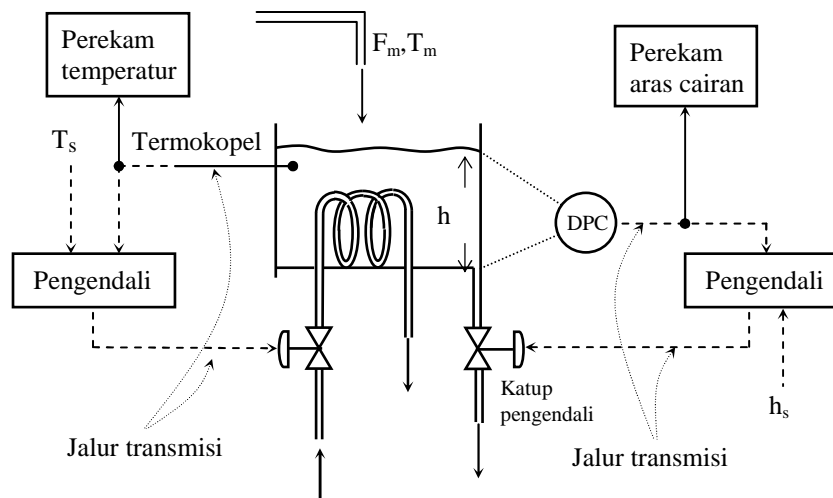
1. *Proses kimia*, yaitu bagian yang mewakili peralatan tempat proses kimia berlangsung.

2. *Alat ukur* atau *sensor* adalah peralatan yang digunakan untuk mengukur gangguan, variabel keluaran yang dikendalikan atau variabel keluaran sekunder, yang merupakan sumber informasi utama tentang apa yang terjadi dalam proses yang sedang berlangsung. Temperatur dapat diukur menggunakan termokopel, laju alir dengan venturimeter, komposisi gas dengan kromatografi.

Termometer air raksa tidak cocok digunakan sebagai alat ukur dalam sistim pengendalian sebab hasil pembacaannya tidak mudah ditransmisikan, sedangkan termokopel dapat membangkitkan tegangan listrik yang mudah ditransmisikan. Pentransmisian adalah faktor yang penting dalam memilih alat ukur. Pengukuran yang baik sangat penting untuk menghasilkan pengendalian yang baik, sehingga alat ukur di industri harus kuat dan dapat dipercaya.

3. *Pengubah sinyal* digunakan untuk mengkonversi hasil pengukuran yang tidak dapat digunakan secara langsung, menjadi besaran fisik yang mudah ditransmisikan, seperti tegangan atau arus listrik dan sinyal *pneumatic* (udara tekan atau cairan). *Strain gauge* adalah salah satu contoh pengubah sinyal dari logam konduktor yang tahanan listriknya berubah jika mengalami regangan mekanik.

4. *Jalur Transmisi* digunakan untuk mengirim sinyal hasil pengukuran dari alat ukur ke pengendali. Jalur transmisi *pneumatic* digunakan sebelum pengendali analog elektronik berkembang, khususnya komputer digital yang menghantarkan sinyal listrik. Sinyal hasil pengukuran yang lemah tidak dapat ditransmisikan dalam jarak yang jauh, untuk kasus tersebut jalur transmisi dilengkapi dengan penguat sinyal (amplifier). Sebagai contoh, keluaran termokopel dalam orde milivolt dikuatkan menjadi beberapa volt sebelum ditransmisikan ke pengendali.



Gambar 3.1 Bagian-bagian perangkat keras untuk pengendalian tangki pemanas berpengaduk

5. *Pengendali* adalah alat yang memiliki intelegensi, berfungsi untuk menerima informasi dari alat ukur dan memutuskan tindakan yang harus dilaksanakan. Pengendali generasi lama memiliki intelegensi terbatas, hanya melakukan tindakan yang sederhana dan melaksanakan aturan pengendalian yang sederhana. Kemajuan di bidang komputer digital untuk pengendalian, memungkinkan intelegensi mesin berkembang pesat dan dapat melakukan aturan pengendalian (control law) yang rumit sekalipun.

6. *Elemen pengendali akhir* yaitu komponen yang melaksanakan keputusan yang diambil oleh pengendali. Sebagai contoh, jika pengendali memutuskan bahwa laju alir keluaran harus dibesarkan atau dikecilkan, untuk mempertahankan aras cairan dalam tangki pada harga tertentu (Contoh 1.1, Gambar 1.3a), maka kerangan aliran keluaran akan melaksanakan keputusan tersebut dengan memperbesar atau memperkecil bukaan.

Kerangan pengendali seringkali digunakan sebagai elemen pengendali akhir. Contoh-contoh elemen kendali akhir dalam proses kimia adalah: *relay switches* (untuk pengendali *on-off*), pompa variabel, kompresor variabel.

7. *Perekam* adalah alat untuk memperagakan bagaimana perilaku proses. Variabel yang direkam biasanya yang diukur secara langsung. Beberapa jenis perekam (temperatur, laju alir, komposisi dsb.) dapat dilihat di ruang kendali di pabrik kimia, yang secara terus menerus memantau perilaku proses.

Penggunaan Komputer Digital dalam Pengendalian Proses

Perkembangan teknologi komputer digital serta penghematan biaya yang signifikan, sangat berpengaruh dalam pengendalian pabrik kimia. Penyempurnaan yang berkembang bersama-sama dengan teknik perancangan pengendali, telah menjadikan komputer digital sebagai pusat pengembangan sistim pengendalian pabrik kimia.

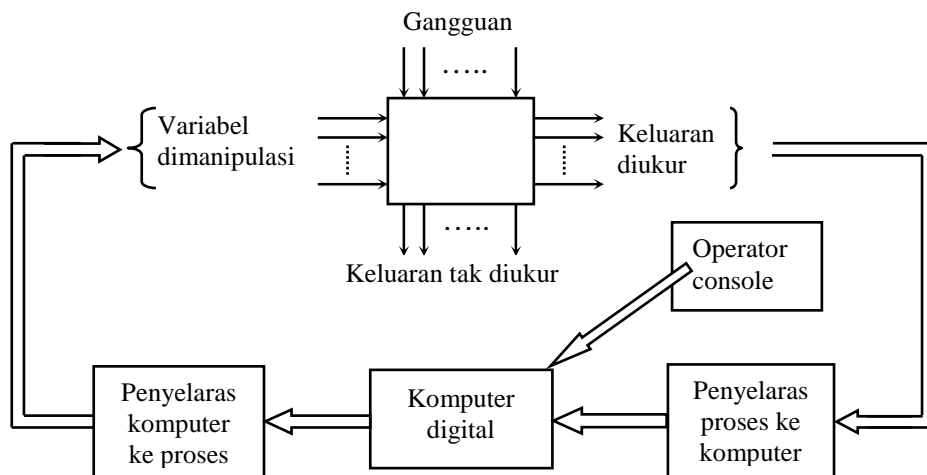
Pabrik-pabrik kimia yang besar seperti pengilangan minyak bumi, pabrik etilena, amonia dan yang lainnya telah dikendalikan menggunakan komputer digital. Penggunaan komputer digital berpengaruh besar, menuju ke pengendalian yang lebih baik dan hemat biaya operasi.

Aturan pengendalian yang dapat dilakukan sebelumnya, sangat sederhana, seperti pengendalian proporsional, proporsional-integral yang telah dibahas dalam Contoh 2.12. Perubahan revolusioner yang mendasar yang diperkenalkan oleh komputer digital dalam praktek pengendalian proses adalah intelegensia maya tak terbatas, yang dapat dilakukan oleh setiap bagian. Fenomena ini memungkinkan dapat digunakannya aturan pengendalian yang jauh lebih rumit dan lebih canggih. Komputer digital juga memiliki intelegensia yang mudah diprogramkan, dapat belajar apa yang diukurnya dari proses dan dapat mengubah aturan pengendalian yang dilaksanakan pada waktu operasi sebenarnya di pabrik.

Komputer digital telah banyak diterapkan di berbagai industri proses. Aspek teoritis dan praktis yang terkait dengan penggunaan komputer digital untuk pengendalian proses, dipelajari di Bab 26 sampai Bab 31. Karakteristik dari penerapan komputer digital dalam berbagai penggunaan akan diuraikan pada paragraf selanjutnya.

3.2.1 Pengendalian Langsung secara Digital (DDC)

Penerapan komputer dalam pengendalian proses, memerlukan pengukuran langsung, kemudian dihitung variabel yang akan dimanipulasi berdasarkan aturan pengendalian yang telah diprogram dalam memorinya. Keputusannya dilaksanakan langsung oleh komputer pada proses, dengan mengatur secara tepat elemen pengendali akhir (kerangan, saklar, kompresor, pompa dsb.). Pelaksanaan pengendalian langsung seperti ini memunculkan istilah pengendalian digital secara langsung (direct digital control, DDC). Konfigurasi DDC diperlihatkan pada Gambar 3.2. Dua perangkat keras penyelaras (interface) dipasang sebelum dan sesudah komputer, untuk menselaraskan komunikasi antara komputer dengan proses.

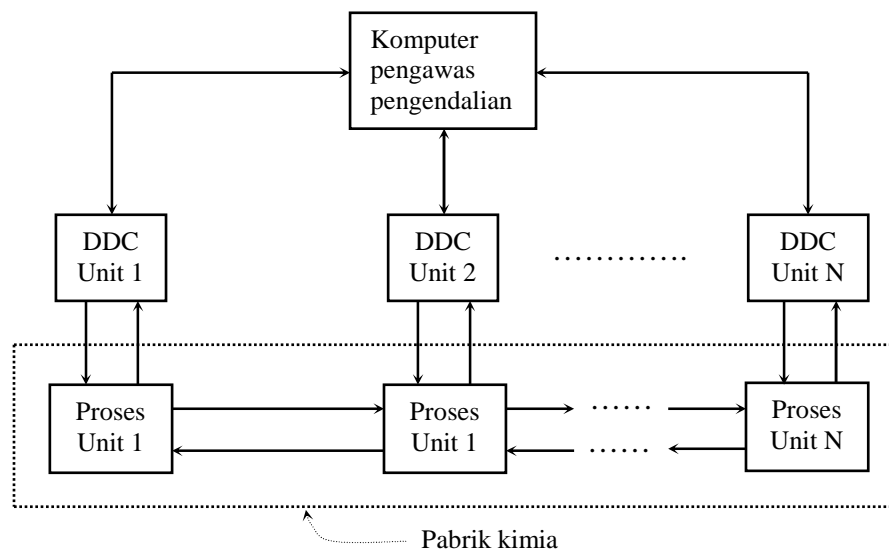


Gambar 3.2 Konfigurasi DDC

Masalah penyelaras akan dibahas di bab selanjutnya. Operator dapat berinteraksi dengan komputer dan mempengaruhi operasi dari DDC. Industri kimia saat ini lebih berkembang menjadi pabrik dengan sistim DDC. Pabrik etilen yang telah menggunakan DDC dapat terdiri dari 300 sampai 400 *loop*. Setiap perusahaan yang menyediakan sistim pengendalian untuk industri kimia makin memilih DDC.

3.2.2 Komputer sebagai Pengawas Pengendalian

Skema rangkaian komputer sebagai pengawas diperlihatkan pada Gambar 3.3. Salah satu tujuan pengendalian proses adalah mengoptimalkan kinerja ekonomi suatu pabrik. Operator sering kali tidak dapat menemukan keputusan terbaik yang menghasilkan biaya operasi minimum. Kelemahan ini disebabkan oleh rumitnya suatu pabrik. Komputer digital yang cepat dengan intelegensi yang telah diprogram, dapat digunakan untuk menganalisis situasi kemudian menyarankan keputusan yang terbaik. Gambar 3.3 memperlihatkan struktur jaringan komputer yang berfungsi untuk mengkoordinasikan kegiatan yang berbasis DDC.



Gambar 3.3 Struktur komputer pengawas pengendalian

3.2.3 Penjadwalan Dikendalikan Komputer

Komputer dapat digunakan untuk menjadwalkan pengoperasian suatu pabrik. Sebagai contoh, kondisi pasar (permintaan, persediaan, harga) berubah terhadap waktu, mensyaratkan pengelola pabrik untuk merubah jadwal dengan cara menurunkan produksi untuk menghindari kelebihan persediaan, menaikkan produksi untuk memenuhi permintaan, mengubah jadwal produksi baru dan seterusnya.

Keputusan di atas dapat dibuat rasional dengan bantuan komputer digital, kemudian dikomunikasikan dengan komputer pengawas pengendalian, selanjutnya pengawas pengendalian akan melaksanakan keputusan tersebut di pabrik kimia melalui DDC.

PENUTUP BAGIAN I

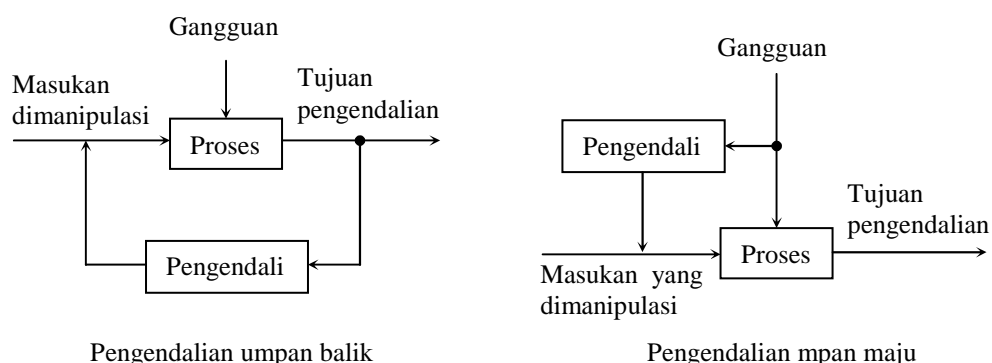
Pembaca diharapkan telah memiliki gambaran tentang:

1. Kebutuhan dan pendorong dilaksanakannya pengendalian proses.
2. Pertanyaan mendasar yang tercakup selama perancangan sistim pengendalian proses kimiawi.
3. Komponen-komponen perangkat keras yang terdapat dalam sistim pengendalian
4. Pentingnya komputer digital untuk penerapan teknik pengendalian yang lebih tinggi di masa sekarang dan yang akan datang.

Pertanyaan-pertanyaan yang muncul dalam bab ini, akan kita analisis secara sistematik di bab berikutnya, dengan tujuan akhir mampu merancang sistim pengendalian yang logis untuk proses yang diberikan.

BAHAN TELAAHAN UNTUK BAGIAN I

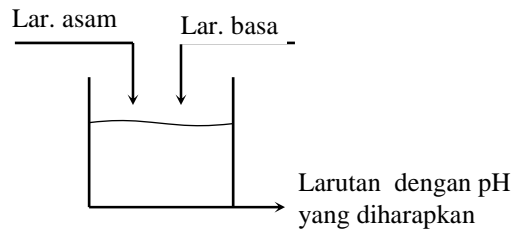
1. Apa yang menjadi tujuan pengendalian, jika anda mengendarai sepeda? Apa hasil pengukurannya dan apa variabel yang dimanipulasi?
2. Ketika anda sedang mandi pagi, apa yang menjadi tujuan pengendalian, hasil pengukuran dan variabel yang dimanipulasi?
3. Bandingkan konfigurasi pengendalian sederhana umpan balik dengan umpan maju (Gambar QI.1). Mana yang dipercayai menghasilkan unjuk kerja terbaik dalam mencapai tujuan pengendalian? Mengapa?



Gambar QI.1

4. Faktor-faktor apa yang harus dipertimbangkan dalam menentukan variabel yang akan diukur dalam pengendalian proses kimiawi? Jawab secara kualitatif.
5. Kapan pengendalian inferensial diperlukan? Apa kelemahan utamanya? Bandingkan dengan konfigurasi umpan balik yang sederhana. Mana yang lebih baik?

6. Uraikan tahap-tahap pada perancangan sistim pengendalian pH cairan dalam tangki berpengaduk (Gambar QI.2) pada harga yang diinginkan? Pertanyaan apa yang harus diselesaikan? Kembangkan konfigurasi sistim pengendalian umpan balik maupun umpan maju untuk sistim tersebut.



Gambar QI.2

7. Apakah sistim SISO dan apakah sistim MIMO? Berikan contoh untuk keduanya dalam bidang Teknik Kimia.
8. Definisikan *konfigurasi pengendalian* dan kembangkan tiga konfigurasi untuk pengendalian pH pada soal 6.
9. Dalam sistim tangki pemanas berpengaduk pada Gambar 1.1, laju alir F proporsional dengan akar aras cairan dalam tangki (h). Tunjukkan bahwa sistim ini stabil (jika laju alir umpan membesar atau mengecil) tangki tidak akan banjir ataupun kosong).
10. Apakah *differential pressure cell*, dan bagaimana alat ini mengukur aras cairan dalam tangki?
11. Apakah venturimeter merupakan alat ukur yang baik untuk mengamati dan mentransmisikan nilai laju alir?
12. Tentukan komponen perangkat keras yang diperlukan pada konfigurasi umpan balik untuk mengendalikan pH dalam tangki berpengaduk pada soal 6.
13. Jika digunakan komputer digital sebagai pengendali dalam konfigurasi pada soal 8, apa komponen perangkat keras baru yang diperlukan?
14. Apakah keuntungan mendasar dan paling penting yang ditawarkan oleh komputer digital dalam pengendalian proses? Diskusikan tentang ukurannya, kemampuan dan harga mikroprosesor terbaru yang ada di pasaran. Apakah anda menyadari potensi yang ditawarkannya untuk pengendalian proses?

REFERENSI UNTUK BAGIAN I

Bab 1. Beberapa contoh pentingnya dan pendorong dilakukannya pengendalian proses dapat dibaca dalam buku-buku berikut:

1. Buckley, P.S., *Technique of Process Control*, John Wiley and Sons, Inc., New York (1979).
2. Shinskey, F.G., *Process Control System*, 2nd ed. McGraw-Hill Book Company, New York (1979).

Karakteristik kestabilan CSTR untuk reaksi eksoterm dapat dibaca lebih lengkap dalam:

3. Aris, R., *Elementary Chemical Reactor Analysis*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. (1969).

Bab 2. Pembahasan yang baik tentang problema-problema dalam perancangan sistim pengendalian dapat ditemui dalam artikel-artikel berikut:

4. Foss, A.S., *Critique of Chemical Process Control Theory*, AIChE J., 19, 209 (1973).
5. Lee, W., V.W. Weekman, *Advanced Control Practice in Chemical Process Industry: A View from Industry*, AIChE J., 22, 27 (1979).
6. Kestenbaum, A., R. Shinnar, F.E. Thau, *Design Concept for Process Control*, Ind. Eng. Chem., Proc. Dec. Dev., 15, 2 (1976).

Pembaca yang akan mempelajari artikel-artikel di atas, disarankan mempelajari terlebih dahulu terminologi yang digunakan dalam referensi tersebut.

Bab 3 Karakteristik dan perancangan alat ukur, pengubah sinyal, transmitter, pengendali, alat kendali akhir dan perekam secara lengkap dapat dibaca dalam:

7. Perry, J.H., *The Chemical Engineer Handbook*, 5th ed., McGraw-Hill Book Company, New York (1974).
8. Considine, D.M., *Process Instrument and Control Handbook*, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, New York (1974).

Referensi yang sangat baik untuk pengendalian proses kimiawi menggunakan komputer adalah buku:

9. Smith, C.L., *Digital Computer Process Control*, Intext Educational Publisher, Scranton, Pa. (1972).

Penerapan pengendalian menggunakan komputer dapat dibaca dalam artikel-artikel berikut:

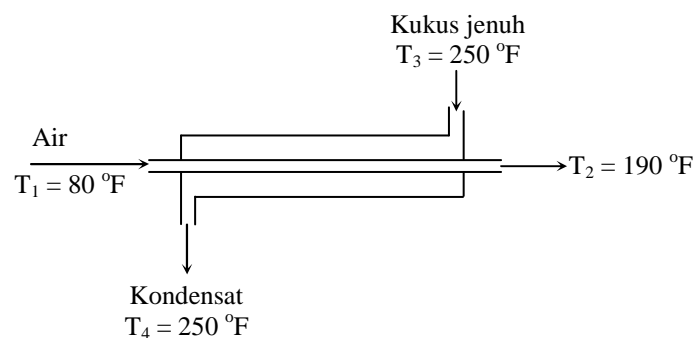
10. Castellano, E.N., C.A. McCain and F.W. Nobles, *Digital Control of a Distillation System*, Chem. Eng. Prog., 74(4), 56 (1978).

11. Latour, P.R., *Energi Conservation via Process Computer Control*, Chem. Eng. Prog., 72(4), 76 (1976).
12. Daigre III, L.C., G.R. Nieman, *Computer Control of Amonia Plant*, Chem. Eng. Prog., 70 (2), 50 (1974).
13. Nisenfeld, *Applying Control Computers to an Integrated Plant*, Chem. Eng. Prog., 69(9), 45 (1973).

SOAL-SOAL UNTUK BAGIAN I

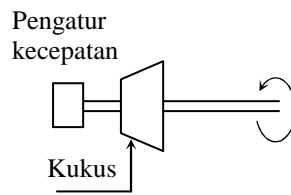
I.1 Perhatikan penukar kalor pada Gambar PI.1. Identifikasi:

- (a) (Kemungkinan) tujuan pengendalian sistim tersebut.
- (b) Seluruh gangguan dari luar yang dapat mempengaruhi pengoperasian penukar kalor.
- (c) Seluruh variabel dimanipulasi, yang ada untuk mengendalikan penukar kalor saat terjadi gangguan.



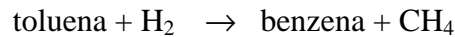
- I.2 Untuk penukar kalor yang sama (Gambar PI.1), dipilih temperatur $T_2 = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebagai tujuan pengendalian (mempertahankan temperatur jika terdapat gangguan). Rumuskan dua konfigurasi umpan balik yang berbeda dan dua konfigurasi umpan maju yang sesuai dengan tujuan pengendalian saat terjadi gangguan.
- I.3 Sebuah turbin kukus menggerakkan sebuah kompresor (Gambar PI.2) dengan beban yang dapat berubah terhadap waktu. Perubahan sedikit pada kecepatan putaran turbin dikendalikan menggunakan sebuah *flyball speed governor*. Untuk sistim ini:
 - (a) Identifikasi seluruh gangguan dari luar.
 - (b) Identifikasi seluruh variabel dimanipulasi, yang ada.

Tentukan juga tujuan mendasar pengendalian dan sarankan sistim pengendalian umpan balik yang sesuai dengan tujuan pengendaliannya.



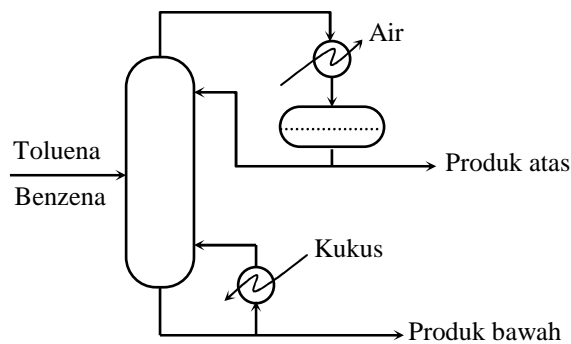
Gambar PI.2

I.4 Toluena dihidroalkilasi menjadi benzena:



H_2 dan CH_4 dipisahkan di unit distilasi kecap, kemudian didistilasi seperti pada Gambar PI.3. Untuk sistim distilasi tersebut:

- Identifikasi seluruh tujuan pengendalian (pastikan anda telah memasukkan seluruh tujuan operasional).
- Identifikasi seluruh gangguan luar.
- Identifikasi seluruh hasil pengukuran dan variabel dimanipulasi.



Gambar PI.3

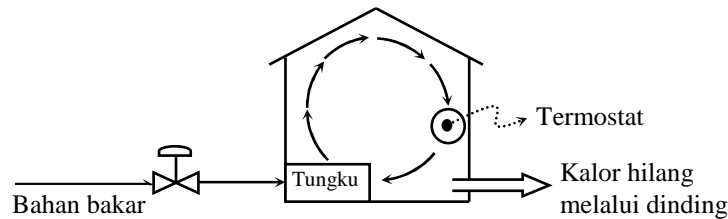
I.5 Untuk sistim distilasi pada Gambar PI.3:

- Sarankan pengendali umpan maju yang akan mengendalikan pengoperasian kolom distilasi jika terjadi gangguan laju alir masukan.
- Sarankan konfigurasi pengendalian umpan balik untuk mengantisipasi perubahan laju alir umpan.
- Jika tujuan pengendalian adalah untuk mempertahankan kemurnian produk atas (benzena) dan menggunakan kromatografi gas untuk mengukur konsentrasi tidak direkomendasikan, sarankan konfigurasi pengendalian inferensial. Pengukuran sekunder apa yang akan digunakan? Bagaimana menggunakan hasil pengukuran tersebut, untuk memperkirakan komposisi produk atas yang tidak diukur?

I.6 Perhatikan sistim pemanas udara yang digunakan untuk mengatur temperatur dalam rumah (Gambar PI.4). Kalor disuplai dari pembakaran minyak.

- Identifikasi tujuan pengendalian, cara pengukuran yang mungkin dan variabel dimanipulasi. Apa gangguannya? Apakah ini sistim SISO?

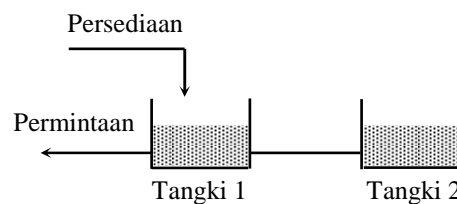
- (b) Kembangkan konfigurasi pengendalian umpan balik untuk mencapai tujuan pengendalian?
- (c) Apakah konfigurasi umpan maju memungkinkan untuk mencapai tujuan pengendalian?



Gambar PI.4

I.7 Gambar PI.5 menunjukkan sistim dua tangki. Tangki 1 digunakan temporer, sedangkan tangki 2 digunakan terus untuk menyimpan suatu produk. Tangki 1 digunakan jika laju produksi lebih besar dari permintaan pasar.

- (a) Identifikasi gangguan dari luar, tujuan pengendalian, pengukuran dan variabel dimanipulasi. Apakah sistim ini SISO atau MIMO?
- (b) Kembangkan alternatif konfigurasi pengendalian untuk mencapai tujuan, umpan balik atau umpan maju?
- (c) Adakah kondisi yang dapat muncul dimana banjir tidak dapat dihindari?



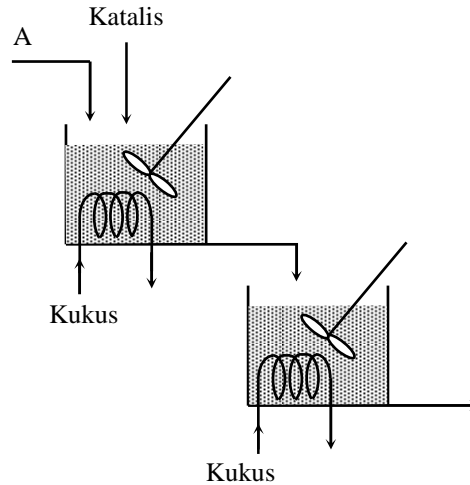
Gambar PI.5

I.8 Perhatikan sistim dua reaktor tangki sinambung yang diseri (Gambar PI.6), tempat terjadinya reaksi endotermik:



- (a) Identifikasi tujuan pengendalian untuk pengoperasian dua CSTR tersebut.
- (b) Apa saja yang termasuk variabel masukan dan keluaran, serta apa saja yang termasuk gangguan dan variabel dimanipulasi. Apa saja yang termasuk variabel keluaran yang diukur dan tidak diukur. Apakah sistim ini SISO atau MIMO?
- (c) Kembangkan konfigurasi pengendalian umpan balik yang sesuai dengan tujuan pengendalian, jika pengukuran komposisi keluaran CSTR kedua dapat menggunakan analiser komposisi.
- (d) Kembangkan konfigurasi pengendalian inferensial menggunakan temperatur dan laju alir saja, anggap tidak dapat digunakan analiser komposisi.
- (e) Kembangkan konfigurasi pengendalian umpan maju, jika dapat digunakan analiser komposisi.

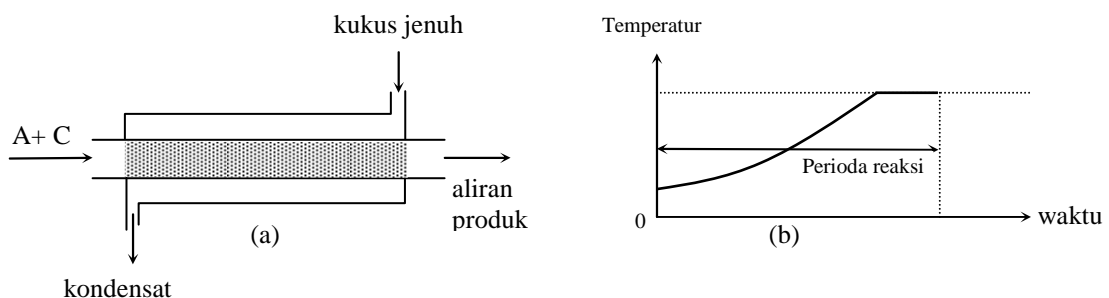
- (f) Sistem manakah yang lebih mudah dikendalikan, dua CSTR pada Gambar PI.6 atau satu CSTR ekuivalen dengan konversi yang sama? Jelaskan secara kualitatif, kenapa?



Gambar PI.6

I.9 Perhatikan reaktor pipa berkatalis tempat berlangsungnya reaksi endotermik $A \rightarrow B$ (Gambar PI.7a). Campuran reaksi dipanaskan menggunakan kukus yang mengalir melalui jeket yang mengelilingi reaktor (reaktor pipa ganda). Aliran bahan baku A mengandung C yang bersifat racun terhadap katalis jika telah lebih dari lima hari. Jika keaktifan katalis menurun, konversi A menjadi B juga menurun. Penurunan tersebut dapat diperbaiki dengan menaikkan temperatur campuran reaksi yaitu dengan cara memperbesar suplai kalor. Anggap reaktor bekerja secara isotermal sepanjang pipa. Gambar PI.7b memperlihatkan profil temperatur dalam reaktor selama perioda reaksi yang menghasilkan keuntungan maksimum.

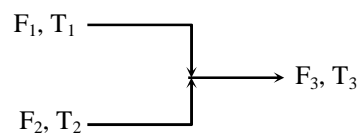
- Rumuskan problema optimasi yang menghasilkan profil temperatur pada Gambar PI.7b.
- Kembangkan sistem pengendalian umpan balik untuk mengatur temperatur reaktor pada Gambar PI.7b. Apa tujuan pengendaliannya?
- Gambarkan sistem pengendalian yang menggunakan komputer digital untuk melaksanakan sistem pengendalian umpan balik pada pertanyaan (b), mencakup alat ukur, jalur transmisi, alat kendali akhir dan komponen lain yang dianggap perlu.



Gambar PI.7

I.10 Dua aliran cairan dengan laju alir F_1 dan F_2 , temperatur T_1 dan T_2 dialirkan pada pipa terpisah kemudian dicampur seperti pada Gambar PI.8 dan diinginkan untuk mempertahankan laju alir F_3 dan temperatur T_3 tetap.

- (a) Identifikasi tujuan pengendalian, gangguan, pengukuran dan variabel yang dimanipulasi. Apakah ini sistem SISO atau MIMO?
- (b) Kembangkan sistem pengendalian yang hanya menggunakan pengendali umpan balik.
- (c) Kembangkan sistem pengendalian yang hanya menggunakan pengendali umpan maju.
- (d) Kembangkan dua sistem pengendalian berbeda yang menggunakan baik pengendali umpan balik maupun umpan maju.



Gambar PI.8