

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sebuah rangkaian unit proses sebuah industri biokimia, seringkali terjadi proses–proses yang menyebabkan munculnya perubahan temperatur. Penyebab hal tersebut di antaranya pemberian energi panas dari luar akibat proses pemanasan dan energi panas yang dilepaskan sebagai hasil dari proses biokimia yang terjadi. Temperatur lingkungan menjadi salah satu faktor yang sangat penting dalam sebuah industri yang menggunakan agen–agen biologi sebagai salah satu komponen industrinya. Hal tersebut disebabkan adanya proses–proses biologis yang rata–rata merupakan reaksi enzimatik dan sangat sensitif terhadap temperatur lingkungan.

Alat pengukur temperatur yang lazim digunakan adalah termometer. Pada setiap termometer terdapat waktu respon terhadap pembacaan temperatur lingkungan yang berbeda–beda. Waktu respon ini akan sangat tampak pada saat terjadi perubahan temperatur lingkungan secara mendadak, baik dari temperatur tinggi ke temperatur rendah, maupun sebaliknya. Pemilihan termometer yang tepat akibat perbedaan respon antara satu termometer dengan termometer yang lain menjadi hal yang sangat penting untuk dilakukan sebab hal tersebut sangat berpengaruh terhadap ketepatan pembacaan temperatur oleh termometer pada sebuah industri. Dengan demikian, sebagai seorang *bioengineer* yang mempelajari proses–proses pada unit operasi sebuah industri, sangatlah perlu untuk mempelajari proses dinamis pada pengukuran temperatur.

1.2 Tujuan

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, tujuan–tujuan dari praktikum ini dapat dibentuk. Tujuan umum yang harus dicapai oleh praktikan adalah praktikan dapat memahami proses dinamis yang terjadi pada pengukuran temperatur dengan menggunakan termometer. Dari tujuan umum tersebut dapat dibagi kembali menjadi dua tujuan khusus yaitu:

1. Praktikan dapat menentukan nilai konstanta waktu τ termometer raksa tanpa *Thermowell*.
2. Praktikan dapat menentukan nilai konstanta waktu τ termometer raksa dengan *Thermowell*.

BAB II

TEORIDASAR

Temperatur merupakan satuan yang merepresentasikan panas dari suatu materi. Perbedaan temperatur akan menyebabkan adanya aliran panas dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang lebih rendah _____. Oleh karena itu, temperatur dapat didefinisikan sebagai variabel dorongan (*force variable*) yang dapat menyebabkan mengalirnya panas (kalor) sebagai variabel alirannya (*flow variable*) (Arthur T. Jhonson, 1999). Neraca perpindahan kalor dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Laju akumulasi panas} = \text{Laju panas masuk} - \text{Laju panas keluar}$$

Asumsi yang digunakan pada persamaan di atas adalah:

1. Tidak ada kalor yang keluar (karena T lingkungan lebih tinggi)
2. Dinding gelas tipis sehingga hambatan karena konduksi dapat diabaikan.
3. Tidak terjadi kontraksi atau pemuaian dinding gelas yang berakibat pada perubahan volume fluida termometer.
4. Koefisien konveksi fluida termometer relatif besar sehingga dianggap tidak ada panas yang terbuang akibat konveksi ini
5. Kapasitas panas fluida konstan dan temperatur fluida termometer sama di semua titik.

Dengan asumsi di atas, neraca energi menjadi sebagai berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = Q_{in}$$

$$m \cdot C_p \frac{dT}{dt} = h \cdot A(T_L - T)$$

$$\frac{m \cdot C_p}{h \cdot A} \frac{dT}{dt} = (T_L - T)$$

Di mana — adalah suatu konstanta yang disebut konstanta waktu τ . Konstanta waktu adalah pengukuran waktu yang diperlukan bagi suatu proses untuk mencapai keadaan seperti yang diberikan inputnya. Dengan demikian, semakin besar konstanta waktu suatu proses, semakin lama pula proses tersebut mencapai kondisi tunak baru. Integrasi neraca energi pada pengukuran temperatur oleh termometer menjadi:

$$\frac{T_L - T}{T_L - T_0} = \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right)$$

Di mana T_0 adalah temperatur pada saat $t=0$, dan T_L adalah temperatur lingkungan. Proses pengukuran dilakukan dengan mengamati perubahan temperatur yang ditunjukkan oleh skala termometer ketika termometer mendapatkan nilai input yang berupa fungsi tahap (*step function*). Termometer yang bertemperatur awal T_0 secara tiba-tiba dimasukkan ke dalam media yang bertemperatur T_L . Termometer akan memberikan respons terhadap perubahan temperatur akibat perlakuan ini. Adanya perbedaan temperatur air raksa (T) dan temperatur lingkungannya (T_L) akan mengakibatkan terjadinya perpindahan panas dari lingkungan (air) ke kaca termometer secara konveksi, perpindahan panas dalam kaca itu sendiri secara konduksi, dan dari kaca (film dinding gelas) ke air raksa dalam termometer terjadi secara konveksi.

Konstanta waktu (τ) pada percobaan ini dapat diperoleh dari linearisasi persamaan di atas menjadi:

$$\tau \cdot \frac{dT}{dt} = T_L - T$$

$$\int_{T_0}^T \frac{dT}{T_L - T} = \int_0^t \frac{dt}{\tau}$$

$$-\ln \frac{T_L - T}{T_L - T_0} = \frac{t}{\tau}$$

Persamaan ini dapat menentukan τ dengan menghitung angka kemiringan (*slope*) dari kurva $-\ln (T_L - T)/(T_L - T_0)$ sebagai sumbu y terhadap t(s) di mana τ merupakan nilai dari $1/(\text{slope})$.

Meskipun nilai konstanta waktu (τ) dari termometer ini merupakan fungsi dari massa (m), kapasitas panas (Cp), koefisien konveksi (h), dan luas permukaan (A), pada kenyataannya, perubahan nilai konstanta waktu dari suatu termometer hanya dipengaruhi oleh koefisien konveksi (h) (Volker Thomsen, 1998). Perubahan nilai konstanta waktu akibat berbagai perlakuan berbeda inilah yang akan diamati pada percobaan kali ini.

Dalam pengukuran temperature pada percobaan kali ini, dibutuhkan kalibrasi termometer terlebih dahulu untuk menguji ketepatan nilai yang ditampilkan alat ukur dengan nilai sebenarnya berdasarkan referensi yang ada. Perbedaan nilai antara yang ditampilkan dan yang sebenarnya ini harus dikoreksi dengan suatu parameter yang disebut sebagai factor kalibrasi (F_k). Dalam melakukan pengukuran, nilai yang ditampilkan alat ukur harus dikalikan dengan factor kalibrasinya. Secara ideal, factor kalibrasi ini harus bernilai, akan tetapi, pada kenyataannya tidak banyak alat ukur yang mempunyai factor kalibrasi sama dengan satu. Nilai yang masih dapat ‘diterima’ berkisar Antara 0.8 sampai dengan 1.2. Faktor kalibrasi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

—

Dimana D_s adalah nilai dosis sebenarnya, sedangkan D_u adalah nilai yang ditampilkan alat ukur.

BAB III

METODE KERJA

3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dipakai dalam percobaan ini adalah sebagai berikut:

Nomor	Alat	Bahan
1	Termometer air raksa	Air
2	Gelas kimia	Es
3	Tabung reaksi	<i>Thermowell</i> air
4	Stopwatch	<i>Thermowell</i> glukosa
5	Metronome	
6	Pemanas listrik	

3.2 Langkah Kerja

Langkah kerja percobaan ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu kalibrasi termometer dan penentuan konstanta waktu τ .

3.2.1 Kalibrasi Termometer

Pertama-tama kalibrasi dilakukan pada kondisi panas. Termometer air raksa dimasukkan ke dalam air mendidih. Kemudian ditunggu hingga temperatur yang tertera pada termometer mencapai angka yang *steady state*. Temperatur yang sudah *steady state* tersebut dicatat. Setelah itu perlakuan yang sama juga diberikan kepada kondisi dingin. Termometer air raksa dimasukkan ke dalam air es. Kemudian ditunggu hingga temperature yang tertera pada termometer mencapai angka yang *steady state*. Temperatur yang sudah *steady state* tersebut juga dicatat sehingga didapatkan dua buah temperatur. Kalibrasi di dua kondisi ini dilakukan sebanyak tiga kali.

Setelah itu kedua temperatur yang telah dicatat dibandingkan dengan titik beku dan titik didih air pada tekanan udara di Jatinangor. Tekanan udara pada saat percobaan dilakukan adalah 1006 mb. Setelah itu kurva kalibrasi antara temperatur nyata dan temperatur hasil percobaan dibuat.

3.2.2 Penentuan Konstanta Waktu τ

Kondisi awal langkah kerja ini adalah dari panas ke dingin. Termometer air raksa dimasukkan ke dalam air yang mendidih dan ditunggu hingga mencapai keadaan *steady state*. Temperatur yang *steady state* itulah yang menjadi temperatur awal (T_0) kondisi panas. Kemudian termometer dipindahkan ke air es dan dicatat perubahannya setiap detik. Langkah ini dilakukan sebanyak tiga kali. Kondisi lainnya adalah dari dingin ke panas. Termometer air raksa dimasukkan ke dalam air es dan ditunggu hingga mencapai keadaan *steady state*. Temperatur yang *steady state* itulah yang menjadi temperatur awal (T_0) kondisi dingin. Termometer dipindahkan ke air mendidih dan dicatat perubahannya setiap detik. Langkah ini dilakukan sebanyak tiga kali.

Dua kondisi berikut dilakukan kembali tetapi menggunakan *thermowell*. *Thermowell* yang digunakan pada percobaan kali ini adalah air dan glukosa.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kalibrasi Termometer

Pada percobaan kalibrasi termometer, didapatkan nilai titik didih hasil perhitungan dengan bacaan termometer pada praktikum berbeda. Pada hasil perhitungan nilai titik didih air adalah 99.89°C sedangkan bacaan termometer pada percobaan menunjukkan nilai 96°C . Perbedaan nilai tersebut dikarenakan pada setiap alat ukur termasuk termometer terdapat faktor koreksi. Faktor koreksi termometer raksa yang digunakan pada percobaan ini adalah 1.04. Nilai tersebut menunjukkan bahwa faktor koreksi masih dapat diterima sehingga termometer dapat dipakai.

4.2. Ketepatan Nilai τ

Pada percobaan pengukuran temperatur dari kondisi panas ke dingin tanpa menggunakan *thermowell*, diketahui untuk ulangan satu dan ulangan dua, nilai R^2 hanya mencapai 0.8, angka ini termasuk yang paling kecil untuk R^2 di semua percobaan baik yang menggunakan *thermowell* maupun yang tidak menggunakan *thermowell*. Hal ini dikarenakan pada percobaan pengukuran temperatur dari kondisi panas ke dingin tanpa menggunakan *thermowell*, perubahan aras air raksa dalam termometer sangatlah cepat untuk t yang mendekati 0, sehingga praktikan mengalami kesulitan untuk menentukan temperatur tertentu pada rentang waktu tersebut. Hal ini memungkinkan terjadinya galat pada data temperatur di beberapa titik yang mengakibatkan kelinieran grafik (R^2) pada percobaan ini paling kecil dibanding hasil R^2 pada percobaan yang lain.

4.2. Perbedaan Nilai τ antara Penurunan dan Kenaikan Temperatur

Pada percobaan penentuan nilai τ , dengan atau tanpa *thermowell*, terjadi perbedaan antara pemindahan termometer dari es mencair ke air mendidih (kenaikan temperatur) dan sebaliknya (penurunan temperatur). Misalnya kita ambil contoh pada percobaan tanpa *thermowell*. Nilai τ yang didapat pada proses kenaikan temperatur adalah 2.451 ± 0.267 sec, sedangkan untuk proses penurunan

temperatur nilai τ adalah 12.535 ± 4.705 sec. Pada percobaan ini nilai massa, kapasitas kalor, dan luas permukaan pada sistem termometer sama. Berarti yang mempengaruhi perbedaan nilai τ adalah koefisien konveksi, h , dari fluida lingkungan (air mendidih atau es mencair). Nilai h pada peristiwa air mendidih dan kondensasi merupakan nilai h yang sangat tinggi dibandingkan nilai h pada kondisi lain (Johnson,1999). Nilai koefisien konveksi berbanding terbalik dengan nilai nilai konstanta waktu sehingga saat termometer dipindahkan dari lingkungan es mencair ke air mendidih, nilai koefisien konveksi akan sangat besar, dan nilai konstanta waktu akan lebih rendah jika dibandingkan dengan peristiwa memindahkan termometer dari air mendidih ke lingkungan es mencair.

4.3. Perbedaan Nilai τ antara Termometer tanpa dan dengan Berbagai Macam Bahan *Thermowell*

Selain terjadi perbedaan nilai τ pada peristiwa kenaikan dan penurunan temperatur, variasi nilai τ juga terjadi pada keadaan dengan berbagai macam atau tanpa *thermowell*. Misalnya diambil contoh pada percobaan kenaikan temperatur pada sistem dengan *thermowell* air dan sistem tanpa *thermowell*. Pada percobaan dengan *thermowell* air, nilai konstanta waktu proses kenaikan temperatur adalah 41.923 ± 10.859 sec. Berbeda dengan nilai konstanta waktu pada sistem tanpa *thermowell*, yaitu 2.451 ± 0.267 sec. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh berubahnya neraca energi yang terjadi pada sistem dengan *thermowell*. Perubahan yang terjadi akibat kalor dari lingkungan (air mendidih) tidak langsung berpindah ke termometer, melainkan digunakan juga untuk memanaskan fluida dalam *thermowell*, sehingga persamaan neraca energinya berubah menjadi :

$$Q_{\text{termometer}} + Q_{\text{thermowell}} = Q_{\text{in}}$$

Akibat terbaginya energi kalor dari lingkungan maka waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur raksa dalam termometer semakin lama, sehingga nilai τ pada sistem dengan *thermowell* jauh lebih besar jika dibandingkan dengan tanpa *thermowell*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Konstanta waktu dari termometer tanpa *thermowell* untuk kondisi panas ke dingin adalah 12.535 ± 4.705 . Konstanta waktu dari termometer tanpa *thermowell* untuk kondisi dingin ke panas adalah 2.451 ± 0.267 . Konstanta waktu dari termometer dengan *thermowell* air untuk kondisi panas ke dingin adalah 89.194 ± 4.835 . Konstanta waktu dari termometer dengan *thermowell* air untuk kondisi dingin ke panas adalah 41.923 ± 10.859 . Konstanta waktu dari termometer dengan *thermowell* glukosa untuk kondisi panas ke dingin adalah 128.900 ± 19.739 . Konstanta waktu dari termometer dengan *thermowell* glukosa untuk kondisi dingin ke panas adalah 43.686 ± 5.884 . Konstanta waktu akan lebih besar jika pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan *thermowell*.

5.2 Saran

Berdasarkan percobaan yang dilakukan menggunakan *thermowell*, praktikan menganggap diperlukannya penyangga pada mulut *thermowell* (tabung reaksi) dengan alat ukur termometer agar sensor air raksa pada termometer dipastikan untuk tidak menyentuh tabung reaksi secara langsung. Selain itu, pada bejana berisi air panas, diperlukan *stirrer* pada proses pemanasan agar proses konveksi pada air yang sedang dipanaskan homogen (merata) suhunya pada setiap titik di bejana air panas tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Jhonson, T. Arthur. 1999. *Biological Procxs Engineering*. John Wiley & sons. Inc. New York. Halaman 3 dan 326–327

Thomsen, Volker. 1998. *Response Time of a Thermometer*. The Physics Teacher Vol. 36

Batan. *Kalibrasi Alat Ukur*. Tersedia:

www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/Proteksi_05.htm. Diakses pada hari Senin, 24 Februari 2014 pukul 01.30

The Engineering Toolbox. *Pressure and Boiling Points of Water*. Tersedia:

www.engineeringtoolbox.com. Diakses pada hari Rabu, 19 Februari 2014 pukul 19.00

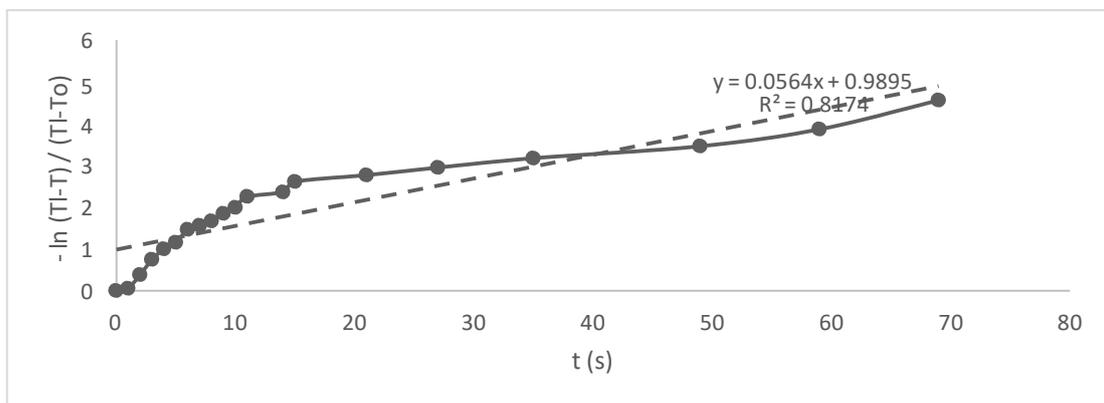
World Weather Online. 2014. *Perumahan Jatinangor Tanjungsari Weather, Indonesia*. Tersedia:

www.worldweatheronline.com. Diakses pada hari Rabu, 19 Februari 2014 pukul 18.30

LAMPIRAN

1			2			3		
t (s)	T (oC)	$-\ln(T_1-T)/(T_1-T_0)$	t (s)	T (oC)	$-\ln(T_1-T)/(T_1-T_0)$	t (s)	T (oC)	$-\ln(T_1-T)/(T_1-T_0)$
0	95	0	0	96	0	0	96	0
1	90	0.054067221	1	80	0.182321557	1	85	0.121696935
2	65	0.379489622	2	55	0.557015006	2	60	0.470003629
3	45	0.747214402	3	40	0.875468737	3	50	0.652325186
4	35	0.99852883	4	35	1.00900013	4	35	1.00900013
5	30	1.15267951	5	25	1.345472367	5	30	1.16315081
6	22	1.462834438	6	20	1.568615918	6	25	1.345472367
7	20	1.558144618	7	15	1.85629799	10	20	1.568615918
8	18	1.663505134	8	13	1.999398834	11	19	1.619909212
9	15	1.84582669	10	10	2.261763098	12	18	1.673976434
10	13	1.988927534	11	9	2.367123614	13	17	1.731134847
11	10	2.251291799	12	8	2.48490665	14	15	1.85629799
14	9	2.356652314	13	7	2.618438042	18	10	2.261763098
15	7	2.607966743	15	6	2.772588722	19	4	3.17805383
21	6	2.762117422	17	5	2.954910279	22	3	3.465735903
27	5	2.944438979	22	4	3.17805383	28	2	3.871201011
35	4	3.16758253	26	3	3.465735903	41	1	4.564348191
49	3	3.455264603	29	2	3.871201011	83	0	#NUM!
59	2	3.860729711	53	1	4.564348191			
69	1	4.553876892	97	0	#NUM!			
119	0	#NUM!						

Tabel 1. Tabulasi data pengukuran temperatur tanpa thermowell dari panas ke dingin



Gambar 1. Grafik pengukuran temperatur tanpa thermowell dari panas ke dingin ulangan I