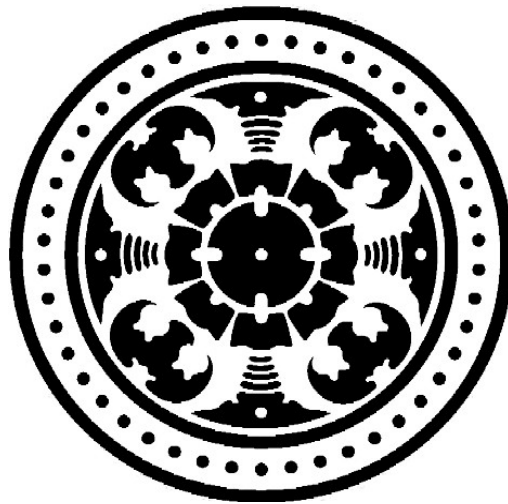


TERMODINAMIKA DALAM SISTEM BIOLOGIS



OLEH :

IDA BAGUS MADE SURYATIKA

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS UDAYANA

2017

Absraksi

Termodinamika dalam fisika lebih banyak membahas tentang kalor temperatur atau suhu. Dalam paparan karya tulis ini juga dipaparkan hubungan antara suhu, kalor dan usaha dalam termodinamika. Hubungan kalor dengan usaha dalam karya tulis ini diperlihatkan setara atau sama dengan seperti yang dipelihatkan dalam hukum termodinamika kesatu. Hukum termodinamika kedua dalam tulisan diperlihatkan hubungan besaran entropi dengan kalor dan entropi berbanding terbalik dengan perubahan suhu suatu sistem. Sistem biologi dapat dipandang sebagai suatu sistem yang sama dengan sistem yang didefinisikan dalam termodinamika sehingga didalam paparan tulisan ini diperlihatkan beberapa contoh penerapan termodinamika diantaranya proses bagaimana perhitungan kesetimbangan Goldman berlaku.

Kata kunci : *usaha, sistem, lingkungan, suhu, kalor, entropi, sistem biologis*

KATA PENGANTAR

Ida Sanghyang widi Wasa adalah causa prima, tiada sesuatu yang dapat diselesaikan tanpa disebabkan oleh- Nya. Demikian halnya dengan tulisan yang berbentuk diskriptip ini.

Tulisan ini mengambil judul termodinamika dalam sistem biologis adalah karya tulis yang sederhana dengan maksud memberikan gambaran sederhana ke pada para pembaca dalam rangka memahami termodinamika dalam ilmu fisika juga berperan dalam sistem biologis.

Harapan kami semoga makalah ini membantu menambah pengetahuan dan pengalaman bagi para pembaca. Melalui kesempatan ini tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu dan telah banyak memberi dukungan sehingga bisa menyelesaikan makalah ini.

Kami mohon maaf atas segala kekurangan yang ada dalam makalah ini, mengingat sangat terbatasnya pengalaman penulis, kepada para pembaca agar mau memberikan masukan yang bersifat membangun untuk kesempurnaan makalah ini.

Jimbaran, 5 mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaqm judul.....	i
Abstaksi.....	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar putaka.....	v

BAB I

Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Metode Penulisan	3

BAB II

Kajian Pustaka	4
2.1. Suhu dan Kalor.....	4
2.2. Energi dari Sistem (Hukum Termodinamika Pertama)	10
2.3. Entropi (Hukum Termodinamika Kedua).....	13

BAB III

Pembahasan	16
3.1 Bagaimanakah hubungan kerja (usaha), panas entropi dalam termodinamika.....	16
3.2 Peristiwa termodinamika dalam sistem biologis.....	17

BAB IV

Penutup	26
4.1 Simpulan.....	26
4.2 Saran	27

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suhu merupakan ukuran atau derajat panas atau dingin dari suatu material. Ukuran panas dingin ini relatif terhadap keadaan material tersebut. Suhu yang menjadi acuan disini atalah suhu campuran air dan es yang didefinisikan sebesar 0°C pada skala Celcius. Untuk suhu tertinggi digunakan suhu campuran air mendidih dan uap (air mendidih) pada tekanan atmosfer sebesar 100°C . Alat yang digunakan dalam pengukuran suhu adalah termometer, dalam fisika alat yang paling tepat digunakan adalah termometer gas volume tetap. Termometer ini menggunakan gas pada konsentrasi yang sangat rendah. Untuk keperluan praktis digunakan termometer raksa, alkohol, termokopel dan masih banyak yang lainnya.

Pembicaraan suhu dalam fisika dikaitkan dengan nama termodinamika, dalam pembahasannya tidak hanya terdiskripsikan pada besaran suhu tetapi juga dipelajari besaran Kalor, Usaha, Entopi dan energi Gibbs. Pembicaraan termodinamika juga selalu di aplikasikan dalam suatu besaran yang disebut sistem. Dalam pembahasan selanjutnya sistem tidak terbatas pada benda tak hidup tetapi manusia juga dapat dipandang sebagai sistem walaupun manusia adalah material biologis. Karena manusia suatu sistem maka besaran energi dan lainnya dalam termodinamika dapat diaplikasikan pada sistem biologis.

Total energi dari suatu sistem sama dengan jumlah energi dari masing-masing partikel. Ada dua cara total energi dalam sistem dapat berubah, yaitu dengan melibatkan usaha (kerja) dan aliran panas yang di dalam system tersebut. Pengertian usaha dan panas di dalam suatu sistem adalah cukup spesifik. Pemahaman tingkat energi dalam sistem ditentukan oleh sifat sistem tersebut.

Penempatan keadaan mikro terhadap sistem meningkat seiring dengan energi dari sistem yang juga meningkat, untuk meningkatkan keadaan kesetimbangan termal. Pengertian kesetimbangan termal sangat erat hubungannya dengan entropi. Entropi dalam termodinamika adalah besaran yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan sistem tersebut. Sifat entropi yaitu maksimum ketika sistem keadaan awal (I) dan keadaan akhir (II) di dalam kesetimbangan.

Pada sistem biologis yang terdiri dari ion- ion dalam jumlah besar, entropi memegang peran sangat penting. Perbedaan konsentrasi ion yang melintasi membran permeabel sel dalam sistem biologis yang selektif pada keadaan tertentu menciptakan besaran potensial membran yang menimbulkan energi dalam sel tersebut. Dengan adanya keterkaitan antara sistem (membrane) terhadap energi (panas) dan kerja (usaha), maka penulis tertarik untuk mempelajari dan mendiskripsikan Termodinamika dalam Biologi sebagai suatu karya tulis ilmiah.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan di atas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah hubungan kerja (usaha) dan panas dalam termodinamika ?
2. Bagaimanakah hubungan hukum termodinamika II dengan entropi?
3. Apakah terjadi peristiwa termodinamika dalam sistem biologis?

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk mempelajari Termodinamika dalam Biologi, yang meliputi:

1. Energi dari Sistem dalam dasar termodinamika

2. Mempelajari pengertian Entropi
3. Mengetahui aplikasi termodinamika terjadi dalam sistem biologis.

1.4 Metode Penulisan

Penulisan karya tulis ilmiah ini berbentuk diskripsi ilmiah dengan mengambil dari sumber dari literatur dan buku yang mempunyai pemikiran tentang termodinamika dan sistem biologi khususnya manusia. Sumber pelengkap juga di sarikan dari web atau internet yang berhubungan dengan teori ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Suhu dan Kalor

2.1.1. Suhu

Dalam fisika termodinamika, sebaiknya kita awali dengan pengertian dari suhu. Suhu sering kita jumpai jika ada dua orang yang saling berinteraksi dengan berkata, hai badanmu panas, kemudian tangan temanya ditempelkan ke yang berkata itu o,,ya badan saya lebih panas dari badan kamu. Interaksi kedua orang tersebut secara sadar dia telah mendefinisikan ukuran panas dari badannya. Ukuran tersebut walaupun masih bersifat kualitatif.

Ukuran panas atau dingin dari suatu benda ini dfinisikan sebagai suhu. Konsep suhu atau juga dikenal dengan istilah temperatur ini awalnya didasarkan pada atas indra persa yang dimiliki oleh manusia. Suatu benda yang lebih panas umumnya memiliki suhu lebih tinggi dari suatu benda yang lebih dingin. Banyak sifat suatu benda yang dapat diukur dan nilainya bergantung kepada suhu benda tersebut. Misalkan panjang suatu batang logam, tekanan uap boiler, kemampuan kawat mengalirkan listrik, kempuan suatu semikonduktor sebagai konduktor atau dalam sistem biologis kempuan sel saraf mengalirkan signal keotak semua keajian tersebut tergantung pada suhu.

Konsep suhu sangat berhubungan dengan juga berhubungan erat dengan pembahasan energi kinetik dari molekul- molekul penyusun suatu benda atau suatu sistem. Hubungan ini cukup rumit, pada pembahasan saat ini cukup dikenalkan pada pengertian dan diskripsi tentang hubungan suhu dan energi kinetik gerakan molekul – molekul gas ideal.

Dalam rangka memanfaatkan besaran suhu sebagai ukuran panas dingin suatu material maka perlu dibuat skala ukuran dalam termometer. Termometer adalah alat yang dipakai untuk mengukur suhu. Termometer ada beberapa jenis yaitu: termometer badan, termometer laboratorium, termometer lingkungan dan lain- lain sesuai dengan pemanfaatannya. Termometer yang digunakan mempunyai beberapa skala diantaranya skala Celcius, Kelvin, Reamur dan Fahrenheit. Skala termometer ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Dalam pemanfaatannya pada sistem biologi skala yang umum digunakan adalah Celcius.

Konversi skala pada termometer:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15 \dots \dots \dots 2.1$$

$$T(R) = T(^{\circ}F) + 456.67 \dots \dots \dots 2.2$$

$$T(^{\circ}C) = 1.8T(^{\circ}R) + 32 \dots \dots \dots 2.3$$

$$T(R) = 1.8 T(K) \dots \dots \dots 2.4.$$

Dimana :

T = suhu atau temperatur

K = skala Kelvin

C = skala Celcius

R = skala Reamur

F = skala Fahrenheit

2.1.2. Kalor

Istilah kalor sering dihubungkan dengan panas atau juga termal. Panas atau kalor bukanlah suatu benda atau materi. Kalor bukan material karena jika material pasti dapat diukur massanya., kalor tidak dapat diukur massanya. Sebagai pembuktian dari kenyataan

ini adalah: Jika suatu benda padat pada suhu benda lebih rendah dari suhu penguapan atau suhu sublimasinya dan pada saat benda tersebut bersuhu lebih tinggi, sudah tentu suhu benda padat lebih tinggi mempunyai kalor lebih banyak. Ternyata saat kita timbang benda tersebut ketika mempunyai kedua keadaan mempunyai massa sama. Ini menunjukkan bahwa bertambahnya kalor tidak menyebabkan berat benda atau massa benda (Bambang M. 2008). Pembuktian kedua, Jika sebuah benda misalnya logam, salah satu ujungnya kita panaskan maka akan terjadi perbedaan suhu antara ujung satu dengan yang lain, jika kita panaskan terus maka ujung lainnya lama menjadi panas juga walaupun tidak dipanaskan. Terjadi aliran panas dari satu ujung ke ujung yang lain. Dari kedua proses di atas maka kalor bukanlah suatu Zat. Tetapi walaupun pengertian di atas bisa kita lihat, kalor dalam berbagai persoalan lebih mudah diterangkan identik dengan Zat. Kalor menjadi aneh juga jika ditinjau sebagai zat, adalah aliran kalor tidak dari tempat yang menyimpan kalor lebih banyak ke tempat yang mengandung kalor lebih sedikit. Dari sumber literatur dikatakan kalor mengalir dari yang mempunyai suhu lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah. (Bambang M. 2008).

Benda yang bersuhu tinggi memiliki kalor yang lebih besar. Dengan tingginya suhu suatu benda maka akan mempengaruhi gerak molekul benda tersebut. Energi adalah besaran skalar dalam fisika dengan lambang dimensi sama dengan usaha. Energi bisa juga disebut tenaga. Perubahan suhu suatu benda dikatakan dapat mempengaruhi energi gerak molekul benda. Energi gerak tersebut dapat berupa gerak translasi, rotasi atau vibrasi. Artinya semakin diturunkan suhu suatu benda maka gerak molekulnya semakin kecil, jika terus diturunkan sampai molekul sampai ambang batas gerak atau diam saat itu secara fisika dikatakan bersuhu 0°Kelvin . Atau -273°C .

Pembicaraan tentang kalor, ada beberapa besaran yang ada di antaranya: kapasitas kalor, kalor jenis, kalor lebur dan kalor laten. Dalam pembahasan tingkat dasar dijelaskan juga hubungan semua kalor tersebut terhadap energinya.

Proses perpindahan kalor pada suatu material ada 3 cara: konduksi, konveksi dan radiasi. Pembahasan selanjutnya akan di lanjutkan dengan konsep dasar tentang hukum termodinamika yang diselaskan dengan suatu sistem.

2.1.3. Hubungan Kalor, massa dan perubahan suhu

Dalam pembicaraan termodinamika baik di alam maupun dalam sistem biologis, hubungan panas atau kalor dengan massa suatu material dan perubahan suhu adalah saling berhubungan. Percobaan yang dilakukan oleh Joule 1814- 1819 memperlihatkan hubungan tersebut. Dari percobaan Joule ini memperlihatkan hubungan antara satuan Kalor yaitu kalori dengan satuan energi dimana dinyatakan :

$$1 \text{ kalori} = 4,2 \text{ Joule}$$

$$1 \text{ Joule} = 0,24 \text{ Kalori}$$

Dari percobaan ini juga didapatkan kenyataan tiap- tiap jenis zat mempunyai kalor tertentu yang digunakan untuk merubah jenis dan wujudnya menjadi bentuk lain.

1. Kalor jenis adalah adalah kalor atau panas yang diperlukan oleh setiap kilogram zat untuk menaikkan suhunya sebesar 1 kelvin. Satuan kalor jenis zat adalah $J/kg^{\circ}C$.

Dari kalor jenis zat ini dapat juga dihitung jumlah atau banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhunya sebanding dengan massa dan perubahan suhu Zat itu. (K. Barus dkk., 1994) $Q = m.c.\Delta t$

2. Kapasitas Kalor adalah jumlah atau total panas yang diperlukan oleh benda itu untuk menaikkan suhunya 1 $^{\circ}C$. (K. Barus, dkk., 1994). Secara matematis di tuliskan $q = C. \Delta T$. Pembicaraan Kalor jenis dan kapasitas kalor membawa kita pada pengertian Asa Black yang menyatakan jika dua material yang mempunyai

suhu yang berbeda dicampurkan maka material yang bersuhu tinggi melepas kalor kepada material yang suhunya lebih rendah. Peristiwa ini terjadi sampai terjadi suatu kesetimbangan. Jumlah kalor yang dilepaskan sama dengan jumlah kalor yang diserap oleh benda yang bersuhu lebih rendah. Jika dilihat kenyataan ini maka asas black sama dengan hukum kekekalan energi dalam pembahasan mekanika dan aplikasi fisika lainnya. Pengertian kapasitas panas ini juga memberikan kita pada perubahan wujud suatu material. Wujud sama dengan bentuk zat. Perubahan wujud adalah perubahan wujud zat yang berlangsung secara fisika yaitu tidak disertai dengan perubahan struktur kimia material tersebut. perubahan wujud material meliputi : mencair, menguap, menyublim dan melebur.

3. Kalor Laten adalah kalor yang digunakan untuk mengubah wujud material. Material dapat mengubah wujudnya jika melepas dan menerima panas. Besarnya kalor yang diperlukan untuk mengubah wujudnya $Q = m L$.

2.1.4. Perpindahan Kalor

Dua buah benda yang saling bersinggungan satu sama lain akan terjadi pelepasan dan penyerapan panas. Kejadian lepas dan serap kalor ini sampai pada titik kesetimbangan. Pelepasan dan penyerapan panas dari kedua material tersebut dapat berlangsung dengan 3 cara yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi.

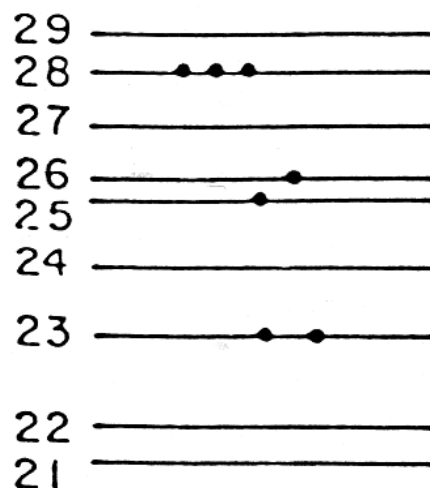
1. Konduksi : sebatang logam dipanaskan pada ujung tertentu maka akan terjadi perambatan panas ke ujung lainnya. Peristiwa ini dikenal dengan konduksi. Proses cepat atau lambatnya panas suatu bahan tergantung dari sifat bahan logam itu. Dalam istilah fisiknya dikenal konduktor dan isolator.
2. Konveksi, perpindahan kalor dengan cara ini lebih banyak terjadi pada peristiwa pemanasan fluida(zat cair). Perpindahan panas secara konveksi terjadi

karena adanya sirkulasi panas dalam material yang dipanaskan sehingga menyebabkan terjadinya perubahan kerapatan material itu.

3. Radiasi, contoh peristiwa radiasi adalah perpindahan panas oleh cahaya matahari ke bumi. Peristiwa perpindahan panas secara radiasi tidak memerlukan medium.

2.2. Energi dari Sistem (Hukum Termodinamika Pertama)

Gambar 2.1. Menunjukkan beberapa tingkat energi di dalam sistem. Total energi dari sistem U adalah jumlah energi dari masing-masing partikel. Untuk menggambarannya, asumsikan bahwa semua partikel adalah sama dan tidak berinteraksi satu sama lain. Yang kemudian masing-masing partikel mempunyai kumpulan yang sama dari tingkat energi, dan adanya partikel lain tidak mengubah partikel tersebut. Dapat dikatakan bahwa ada kumpulan tingkat energi tertentu di dalam sistem dan tiap-tiap level (tingkat yang dapat menempati sejumlah partikel lain. Energi dari tingkat i disebut U_i .



Gambar 2.1. Tingkat Energi di dalam Sistem.

Total energinya:

$$U = (2)(U_{23}) + (U_{25}) + (U_{26}) + (3)(U_{28}) \dots\dots\dots 2.5.$$

Anggap bahwa sistem terisolasi sehingga tidak kehilangan energi atau bati. Hal ini masih memungkinkan partikel terhap sistem untuk memindahkan energi dan berpindah ke tingkat energi yang berbeda, selama total energi tidak berubah. Untuk sistem di dalam kesetimbangan, jumlah rata-rata partikel di dalam tiap tingkat tidak berubah terhadap waktu.

Ada dua cara total energi dari sistem dapat berubah. Kerja (work) dapat dilakukan dalam sistem dengan sekelilingnya, bahang (panas) dapat mengalir dari sekelilingnya ke sistem. Arti dari kerja dan panas di dalam artian tingkat energi sistem adalah cukup spesifik. Pertama definisikan tanda hubungan konversi dengannya.

Hal itu merupakan cara untuk mendefinisikan Q menjadi aliran panas ke dalam sistem.

Jika tidak ada kerja di lakukan, maka perubahan energi di dalam sistem:

$$\Delta U = Q \dots\dots\dots 2.6$$

Hal ini juga cara untuk mendefinisikan (W) kerja yang di lakukan oleh sistem pada sekelilingnya. Ketika W positif, energi mengalir dari sistem ke sekelilingnya. Jika tidak ada aliran panas yang menyertainya, maka perubahan energi dari sistem adalah:

$$\Delta U = -W \dots\dots\dots 2.7$$

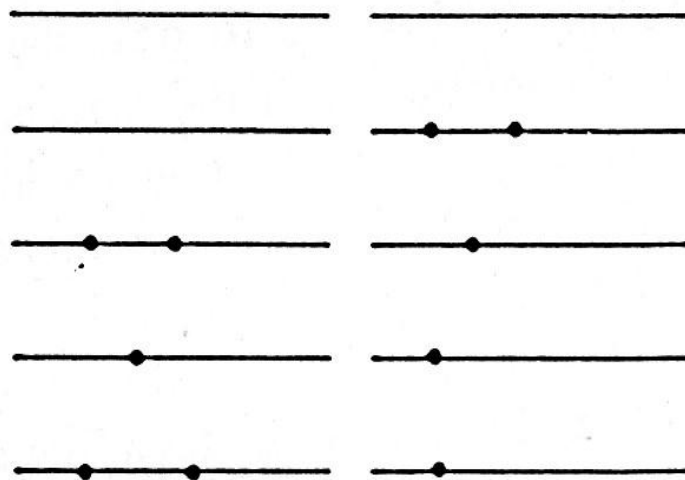
Cara yang umum sistem energi dapat berubah adalah mempunyai dua dari kerja yang dilakukan sistem dan aliran panas ke dalam sistem. Pernyataan energi konservasi di dalam kasus tersebut disebut Hukum Termodinamika Pertama.

$$\Delta U = Q - W \dots\dots\dots 2.8$$

Posisi (kedudukan) tingkat energi di dalam sistem ditentukan oleh beberapa sifat sistem. Untuk partikel gas di dalam kotak, posisi tingkatnya ditentukan oleh ukuran dan bentuk kotak. Untuk perubahan partikel dalam medan listrik, posisi tingkatnya ditentukan medan listrik.

Jika parameter makroskopiknya yang menentukan posisi tingkat energi tidak berubah adalah satu-satunya cara untuk merubah jumlah rata-rata partikel yang berpindah tiap tingkat energi. Perubahan energi ini disebut aliran panas.

Kerja dihubungkan dengan perubahan di dalam parameter makroskopik (seperti volume) yang menentukan posisi tingkat energi. Jika tingkat energi dirubah tanpa merubah rata-rata perpindahan, maka tidak ada aliran panas menyertai dan perubahannya disebut Adiabatik. Perubahan adiabatik menunjukkan energi pada tiap tingkat (level) meningkat, rata-rata perpindahan dari masing-masing tingkat tidak dapat berubah, sehingga tidak ada aliran panas dan kerja dilakukan sistem.



Gambar 2.2 Perubahan Energi yang disebut Aliran Panas.

2.3. Entropi (Hukum Termodinamika Kedua)

Ketidakmungkinan untuk mengubah seluruh panas menjadi tenaga mekanis merupakan salah satu bentuk Hukum Termodinamika Kedua, yang dinyatakan oleh Kevin-Plank, adalah:

“Tidak mungkin dibuat suatu mesin panas yang menyerap panas dari sebuah reservoir dan mengubah seluruh panas ini menjadi usaha mekanis.”

Secara matematis untuk mesin panas dapat dikatakan bahwa $W < Q_2$; sehingga $\eta < 1$ ($\eta < 100\%$).

Pernyataan Hukum Termodinamika Kedua yang lain diberikan oleh Clausius:

“Tidak mungkin untuk membuat mesin dingin yang dapat menyerap panas dari suatu benda bersuhu rendah dan memindahkan panas itu ke benda lain yang bersuhu lebih tinggi tanpa melakukan usaha.”

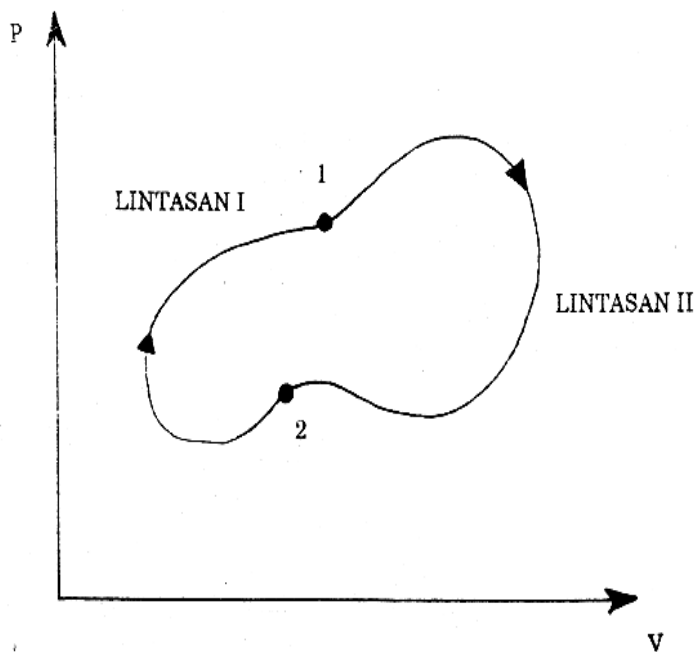
Dan untuk menyatakan secara matematis bahwa untuk mesin dingin $W = 0$. Efisiensi siklus yaitu nisbah (rasio) usaha atau kerja yang berguna terhadap panas yang diserap, yang secara matematis ditulis:

$$\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} \text{ atau } \eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} \dots\dots\dots 2.9$$

Maka dapat diartikan bahwa hukum termodinamika kedua berbicara tentang apa yang disebut dengan hukum entropi. Entropi merupakan suatu besaran yang tergantung pada keadaan sistem. Para ahli senang menyebut entropi sebagai derajat ketakteraturan atau tingkat ketakteraturan. Dalam termodinamika, semesta dipilah menjadi sistem dan lingkungan. Dimana sistem merupakan bagian semesta yang dipilih sebagai pusat pengamatan atau perhatian, sedangkan lingkungan adalah bagian semesta yang berada di luar sistem.

Asumsikan bahwa dua keadaan pada suatu sistem dan sejumlah proses dapat balik (reversibel) yang menghubungkan kedua keadaan tersebut. Panas yang ditambahkan pada

sistem nilainya berbeda untuk proses dapat balik yang berbeda. Jika sejumlah panas (dQ) yang ditambahkan pada setiap perubahan kecil selama proses dibagi dengan suhu mutlaknya (T) dan hasil pembagian untuk seluruh proses dijumlah, maka didapat nilai yang sama untuk semua proses dapat balik tersebut. Maka $\int dQ/T = \text{konstan}$ untuk semua proses dapat balik antara keadaan 1 dan 2.



Gambar 2.5 Dua Keadaan pada Suatu Sistem dan Proses Reversibel

(dapat balik)

Jika dQ merupakan proses singkat panas yang ditambahkan, maka dQ/T disebut sebagai Perubahan Entropi Sistem. Secara matematis ditulis: $dS = dQ/T$ dan $S = Q/T$. Namun karena entropi merupakan besaran yang hanya bergantung pada keadaan atau tidak bergantung pada proses, maka $\int dS = S_1 - S_2$ berlaku untuk proses tidak dapat balik. Untuk proses adiabatik (yang reversibel), tidak ada pertukaran panas antara system dan lingkungan, sehingga entropi awal dan akhir system adalah sama. Karena itu entropi juga disebut sebagai proses Isentropik.

Konsep entropi tersebut menjadikan Hukum kedua Termodinamika diungkapkan dengan:

- ❖ Entropi total sistem yang mengalami proses adalah konstan dan bertambah.
- ❖ Dan tidak mungkin ada suatu proses yang menyebabkan entropi total sistem-sistem berkurang.

Karena panas (energi) hanya mengalir dari benda yang bersuhu lebih tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah.

BAB III

PEMBAHASAN

3.1. Bagaimanakah hubungan kerja (usaha) dan panas dan entropi dalam termodinamika

Dari pemaparan di tinjauan teori di bab 2 diperlihatkan bahwa, kalor adalah salah satu bentuk energi. Jadi dilihat dari satuannya energi dan usaha sama bersatuan joule. Kalor juga bersatuan kalori, dengan percobaan joule diketahui bahwa hubungan antara kalor dan Joule adalah: 1 kalori = 4,2 Joule. Dan 1 Joule = 0,24 Kalori.

Jika dilihat joule sebagai satuan usaha, sedangkan usaha adalah perindahan suatu benda akibat tarikan atau dorongan maka kita mengenal energi kinetik, energi potensial. Dalam termodinamika seperti dipaparkan dalam bab 2 tulisan ini kita coba mencari hubungan kerja dengan kalor pada suatu sistem dengan partikel- partikel di dalam sistem itu diperoleh : .Kerja (work) dapat dilakukan dalam sistem dengan sekelilingnya, bahang (panas) dapat mengalir dari sekelilingnya ke sistem. Arti dari kerja dan panas di dalam artian tingkat energi sistem adalah cukup spesifik. Pertama definisikan tanda hubungan konversi dengannya.

Hal itu merupakan cara untuk mendefinisikan Q menjadi aliran panas ke dalam sistem. Jika tidak ada kerja di lakukan, maka perubahan energi di dalam sistem:

$$\Delta U = Q$$

Hal ini juga cara untuk mendefinisikan (W) kerja yang di lakukan oleh sistem pada sekelilingnya. Ketika W positif, energi mengalir dari sistem ke sekelilingnya. Jika tidak ada aliran panas yang menyertainya, maka perubahan energi dari sistem adalah:

$$\Delta U = -W$$

Jika kita hubungkan kedua proses ini didapat :

$$Q = -W$$

Jika dalam sistem telah memiliki energi dalam maka tergambar hubungan :

$$\Delta U = Q - W$$

Atau ditulis juga $Q = \Delta U + W$

Jadi hubungan kalor dengan energi dalam termodinamika adalah adanya kesamaan antara kalor yang dimiliki sistem dengan total energi atau kerja sistem.

Dalam termodinamika kita juga mengenal istilah entropi. Suatu sistem baik tertutup maupun terbuka akan mempunyai besaran entropi dengan lingkungan sistem tersebut. Entropi dilambangkan dengan S. Hubungan entropi diperlihatkan dalam hukum termodinamika kedua, seperti dipaparkan dalam bab 2 tulisan ini:

Jika dQ merupakan proses singkat panas yang ditambahkan, maka dQ/T disebut sebagai Perubahan Entropi Sistem. Secara matematis ditulis: $dS = dQ/T$ dan $S = Q/T$. Namun karena entropi merupakan besaran yang hanya bergantung pada keadaan atau tidak bergantung pada proses, maka $\int dS = S_1 - S_2$ berlaku untuk proses tidak dapat balik.

Jadi entropi merupakan proses ketidak teraturan sistem dengan lingkungan atau entropi dalam termodinamika kedua dikatakan berbanding lurus dengan perubahan kalor sistem dan berbanding terbalik dengan perubahan suhunya.

3.2. Peristiwa termodinamika dalam sistem biologis

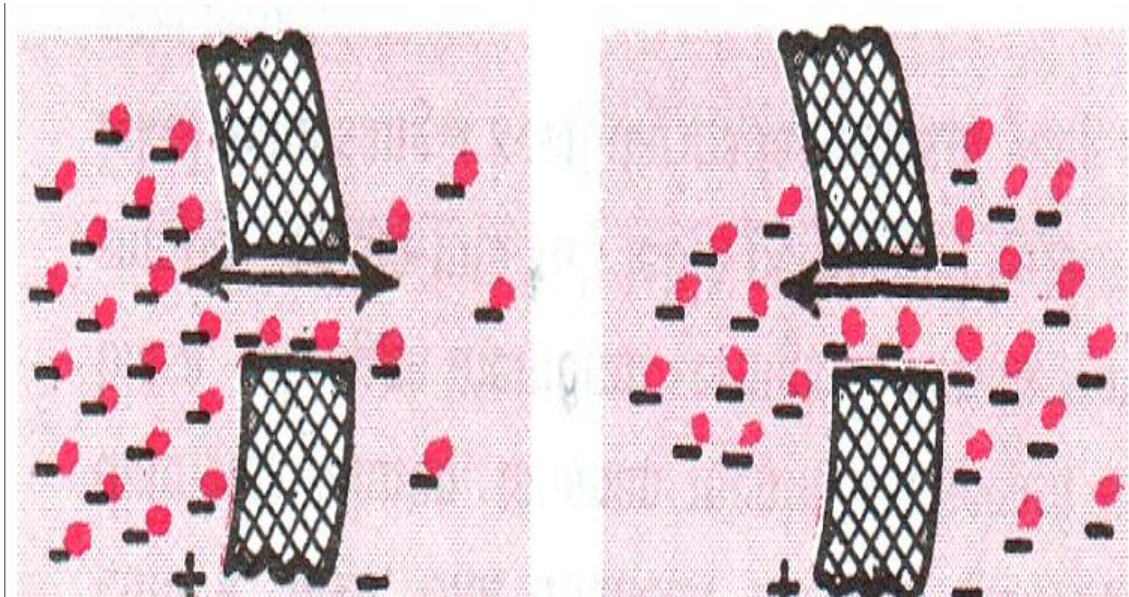
Sistem biologis dalam termodinamika dapat dipandang sebagai suatu sistem baik terbuka maupun tertutup. Sistem dan lingkungan selalu berpengaruh jadi semua kejadian dalam hukum termodinamika dapat diaplikasikan dalam sistem biologis. Berikut diambil beberapa peristiwa dalam termodinamika terjadi dalam sistem biologis:

3.2.1. Gradien Potensial Listrik (Pengaruh Potensial Listrik terhadap Difusi Ion)

Jika suatu potensial listrik dialiri melintasi membran, pada gambar 3.1 Akibat muatan listriknya ion-ion akan bergerak melalui membran meskipun tidak terdapat perbedaan konsentrasi untuk menimbulkan pergerakannya. Bagian kiri gambar 3.1.a, konsentrasi ion negatif adalah sama pada kedua sisi membran tetapi muatan positif terpasang pada sisi kanan membran dan muatan negatif pada sisi kiri menimbulkan gradien listrik yang melintasi membran. Muatan positif menarik ion negatif, sementara muatan negatif menolaknya. Maka terjadi difusi netto dari kiri ke kanan.

Setelah beberapa waktu, sejumlah besar ion negatif akan bergerak ke kanan (bila efek gangguan dari ion positif dalam zat pada saat ini kita abaikan).

Gambar 3.1.b kanan, pembentukan perbedaan konsentrasi pada ion-ion yang sama dalam arah berlawanan dengan perbedaan potensial listrik. Perbedaan konsentrasi yang ada pada saat ini cenderung menggerakkan ion ke kiri, sedangkan perbedaan muatan listrik cenderung menggerakkan ion ke kanan. Bila perbedaan konsentrasi meningkat cukup tinggi, kedua efek ini akan saling mengimbangi.



Gambar 3.1.(a) dan (b) Potensial Listrik dialirkan melalui Membran.

Pada suhu tubuh normal perbedaan muatan listrik yang akan mengimbangi perbedaan konsentrasi ion univalen tertentu seperti ion Na dapat ditentukan dari persamaan Nernst.

$$\text{Emf (dalam milivolt)} = \pm 61 \log C_1/C_2$$

Dimana :

Emf = daya elektromotif (voltase) antara sisi 1 dan sisi 2 dari membran

C1 = konsentrasi pada sisi 1

C2 = konsentrasi pada sisi 2

Polaritas voltase pada sisi 1 dalam persamaan di atas ialah untuk ion negatif dan ion positif

3.2.2. Gradien pada Konsentrat

Pada dasarnya untuk mengkaji gradien pada konsentrat haruslah melibatkan dua kejadian yaitu : pada saat keadaan normal (sebelum potensial aksi) dan sesudah terjadi potensial aksi.

1. Pompa Natrium-Kalium

Semua membran sel tubuh mempunyai pompa natrium-kalium yang sangat kuat yang terus-menerus memompa natrium keluar sel dan kalium ke dalam. Seperti gambar 3.2. Pompa $\text{Na}^+ \text{K}^+$ (pompa eletrogenik) memindahkan tiga ion Na^+ keluar sel setiap dua ion K^+ yang masuk ke dalam sel yang akhirnya ada satu muatan positif yang digerakkan dari bagian dalam sel ke bagian luar sel untuk setiap siklus pompa. Keadaan ini menimbulkan suasana positif di luar sel, tetapi membuat kekurangan ion positif di dalam sel: artinya bagian dalam sel menjadi bersifat negatif. Pada pompa elektrogenik, menimbulkan potensial listrik pada membran yang bersebelahan ketika pompa bekerja. Tujuan pompa $\text{Na}^+ \text{K}^+$ membentuk lebih banyak lagi potensial listrik yang melintasi membran. Untuk alasan yang lain, pompa $\text{Na}^+ \text{K}^+$ merupakan kebutuhan dasar dalam saraf dan otot untuk menjalankan sinyal saraf dan otot.

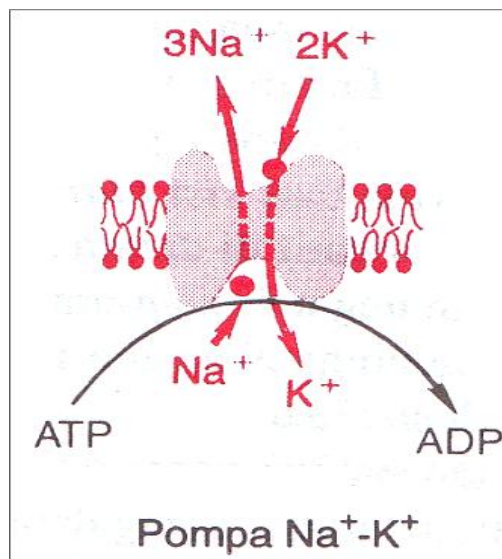
Pompa $\text{Na}^+ \text{K}^+$ juga menimbulkan gradien konsentrasi yang besar untuk natrium dan kalium melewati membran saraf istirahat. Gradien tersebut adalah sebagai berikut:

Na^+ (di luar): 142mEq/L

Na^+ (di dalam): 14mEq/L

K^+ (di luar): 4mEq/L

K^+ (di dalam): 140mEq/L



Gambar 3.2 Pompa Elektrogenik

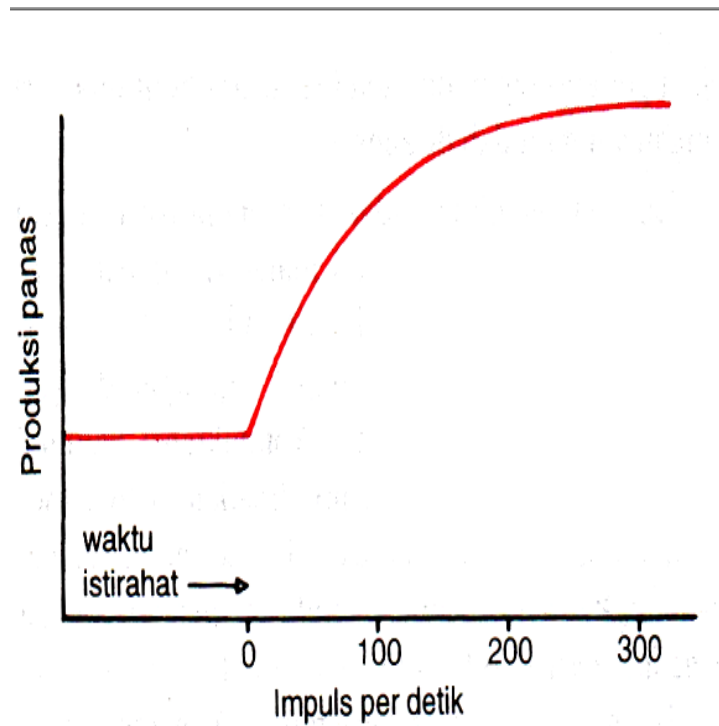
2. Penetapan kembali Gradien Ion Natrium dan Kalium sesudah terjadinya Potensial Aksi

Penjalaran setiap impuls sepanjang serat saraf akan mengurangi perbedaan konsentrasi natrium dan kalium antara sisi dalam dan sisi luar membran secara jelas akibat difusi ion natrium ke dalam selama depolarisasi dalam difusi ion kalium keluar selama repolarisasi. Satu potensial aksi, pengaruh perbedaan konsentrasi natrium Na⁺ dan K⁺ antara sisi dalam dan sisi luar membran sangatlah kecil, sehingga tidak dapat diukur. Ada 100.000 sampai 50.000.000 impuls dapat dijalarkan oleh serat saraf, jumlahnya bergantung pada ukuran serat dan beberapa faktor lain. Sebelum perbedaan konsentrasi menurun hingga suatu nilai dimana penjalaran potensial aksi terhenti. Dengan berjalannya waktu perlu adanya penetapan kembali perbedaan konsentrasi natrium dan kalium pada membran. Hal ini dapat dicapai melalui kerja pompa Na⁺ K⁺ dengan cara yang sama dengan penetapan awal potensial istirahat.

Artinya, ion natrium yang telah berdifusi keluar dikembalikan ke keadaan semula oleh pompa $\text{Na}^+ \text{K}^+$. Dalam pompa $\text{Na}^+ \text{K}^+$ dibutuhkan energi untuk kerjanya, proses “pengisian kembali” serat saraf merupakan proses metabolik aktif, dengan menggunakan energi yang berasal dari sistem energi adenosin trifosfat pada sel.

Gambar 3.3 memperlihatkan bahwa serat saraf menghasilkan panas yang berlebihan yang merupakan ukuran pengeluaran energinya bila konsentrasi impuls meningkat

Gambaran khusus dari pompa natrium kalium ATPs adalah bahwa tingkat aktivitasnya terangsang dengan kuat bila terdapat kelebihan ion natrium yang berkumpul di dalam membran. Ternyata aktivitas pemompaan meningkat kira-kira sebanding dengan pangkat tiga konsentrasi natrium. Jadi, bila konsentrasi natrium di dalam sel meningkat dari 10 menjadi 20 mEq/L, aktivitas pompa meningkat delapan kali lipat. Ringkasnya proses pengisian kembali serat saraf sangat cepat menjadi suatu gerakan kapan pun perbedaan konsentrasi ion natrium dan kalium yang melewati membran mulai berkurang.

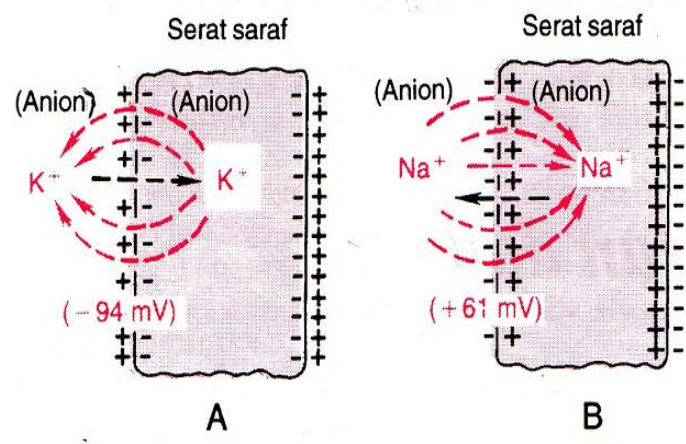


Gambar 3.3 Serat Saraf menghasilkan panas yang berlebih terhadap konsentrasi impuls.

3. Potensial Membran (Persamaan Goldman)

Assumsikan bahwa pada gambar 3.3.a Membran bersifat permeabel terhadap ion kalium tetapi tidak terhadap ion yang lainnya. Karena gradien konsentrasi kalium dari dalam sel ke luar sel besar terdapat kecenderungan kuat untuk ion kalium berdifusi ke luar. Maka ion kalium membawa muatan positif ke luar, yang akhirnya membentuk keadaan elektropositif diluar membran dan elektronegatif di dalam akibat anion-anion negatif yang tetap tertinggal dan tidak berdifusi ke luar menyertai kalium. Perubahan potensial pada membran tersebut cukup besar untuk menghambat difusi net selanjutnya ke bagian luar meskipun gradien konsentrasi ion kalium cukup tinggi (Pada serat saraf mamalia yang besar, perbedaan potensial yang dibutuhkan adalah sekitar 94 milivolt dengan keadaan negatif di dalam membran serat).

Gambar 3.3.b Menjelaskan bahwa konsentrasi ion natrium yang tinggi di luar membran dan rendah di dalam. Membran sangat permeabel terhadap ion natrium, tetapi tidak permeabel untuk semua ion lainnya. Dan sekali lagi potensial membran meningkat cukup tinggi menghambat difusi ion natrium selanjutnya ke dalam (Pada serat saraf mamalia perbedaan potensialnya sekitar 61 milidetik). Jadi, pada kedua bagian gambar 3.3, Perbedaan konsentrasi ion yang melintasi membran selektif permeabel, dalam kondisi tertentu dapat menciptakan potensial membran.



Gambar 3.3 (a) dan (b) Potensial Difusi pada serat membran.

Pada Persamaan Goldman atau Persamaan Goldman-Hodgkin-Katz, dihasilkan perhitungan potensial membran di sisi dalam membran bila dua ion positif univalen, yakni natrium (Na^+) dan kalium (K^+) dan satu ion univalen yakni ion klorida (Cl^-) ikut terlibat.

$$EMF \text{ (milivolt)} = -61 \cdot \log \frac{C_{Na^+i}P_{Na^+} + C_{K^+i}P_{K^+} + C_{Cl^-o}P_{Cl^-}}{C_{Na^+o}P_{Na^+} + C_{K^+o}P_{K^+} + C_{Cl^-i}P_{Cl^-}}$$

dan untuk persamaan potensial Nernst untuk setiap ion univalen pada suhu tubuh normal 98,6°F (37°C) :

$$EMF = \pm 61 \log \frac{\text{Konsentrasi di dalam}}{\text{Konsentrasi di luar}}$$

Kegunaan dan makna dari persamaan Goldman adalah:

- ❖ Ion natrium, kalium dan klorida merupakan ion paling penting yang terlibat dalam perkembangan potensial membran dalam serat saraf dan otot juga dalam di sel neuronal dalam sisteme saraf pusat. Gradien konsentrasi masing-masing ion ini melintasi membran membantu voltase potensial membran.
- ❖ Tingkat kegunaan dari tiap-tiap ion menentukan voltase yang sebanding dengan permeabilitas membran terhadap ion tertentu tersebut. Sehingga, jika membran bersifat tidak permeabel terhadap ion kalium maupun klorida, potensial seluruhnya didominasi oleh gradien konsentrasi ion natrium saja, dan menghasilkan potensial yang akan sama dengan potensial Nernst untuk natrium.
- ❖ Gradien konsentrasi ion positif yang berasal dari sisi membran terhadap sisi luar menimbulkan keadaan elektronegatif di sisi dalam membran. Hal ini di sebabkan oleh ion positif yang berdifusi ke luar bila konsentrasinya di sisi dalam lebih besar daripada di sisi luar. Peristiwa ini membawa muatan positif ke sisi luar namun meninggalkan anion negatif yang tidak dapat berdifusi di sisi dalam. Efek yang berlawanan dapat terjadi bila gradien ion klorida dari sisi luar ke sisi dalam menyebabkan keadaan negatif di dalam sel sebab ion klorida yang bermuatan negatif selanjutnya berdifusi ke dalam. Sementara meninggalkan ion positif yang tidak berdifusi di sisi luar.
- ❖ Bahwa permeabilitas saluran natrium dan kalium akan mengalami perubahan cepat selama perjalanan impuls saraf, sedangkan permeabilitas saluran klorida tidak mengalami begitu banyak perubahan selama proses tersebut. Maka perubahan permeabilitas terhadap natrium dan kalium bertanggung jawab untuk penghantaran sinyal pada saraf.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Pembicaraan tentang termodinamika suatu sistem maka dapat disimpulkan bahwa terjadi hubungan kesamaan antara energi, panas dan usaha atau kerja yang dilakukan sistem, seperti yang diperlihatkan dalam hukum termodinamika kesatu. Hukum termodinamika kedua memperlihatkan hubungan antara besaran entropi atau ketidak teraturan antara sistem dengan lingkungan. Hubungan ini memperlihatkan : $dS = dQ/T$ dan $S = Q/T$.

Entropi (derajat ketakteraturan) merupakan suatu besaran yang bergantung pada keadaan system.

Dalam sistem biologis yang diandaikan sebagai sistem dan diluar sistem biologis di sebut lingkungan, dari pemaparan bab 3 dapat disimpulkan terjadi juga perhitungan yang berhubungan dengan termodinamika seperti : Gradien potensial listrik yang melintasi membrane dalam sel biologis, persamaan Goldman, yaitu dihasilkan dari perhitungan potensial membran di sisi dalam membran bila dua ion positif univalen yaitu natrium (Na^+) dan kalium (K^+) dan satu ion negatif univalen yaitu klorida (Cl^-) ikut terlibat.

4.2. Saran

Pembuatan karya tulis dengan sistem deskriptif kuranglah lengkap untuk itu perlu disarankan untuk lebih paham akan perhitungan termodinamika pada sistem biologis maka sebaiknya dilakukan praktikum langsung dengan cara membuat suatu sistem yang mendekati sistem biologi sehingga semua proses pemasukan dan pelepasan panas bisa diketahui dengan tepat sehingga seberapa besar usaha yang bisa dilakukan sistem itu.

DAFTAR PUSTAKA

Bambang Murdaka Eka Jakti, *Fisika dasar*, 2008, Andi Yogyakarta

Guyton, C.Arthur.M.D., and Hall,E.John.Ph.D., (1997), *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran (Textbook of Medical Physiology)*, Edisi 9, Jakarta

Hobbie, K.Russell, *Intermediate Physics for Medicine and Bioligy*, Universitas of Minnesota.

K. Barus dkk., *Fisika*, 1994, perpustakaan nasional

Prasetio, Lea. Dra.M.Sc.,dan Sandi, Setiawan.Drs., (1991), *Mengerti Fisika "Termofisika"*,Yogyakarta.

