

**PENGARUH PEMBERIAN TEPUNG RUMPUT LAUT  
*Gracilaria verrucosa* BENTUK LARUTAN DAN GEL TERHADAP  
KADAR GLUKOSA DARAH TIKUS WISTAR (*Rattus novergicus*)**

**LAPORAN SKRIPSI  
TEKNOLOGI HASIL PERIKANAN**

Oleh :  
**URIP FITRIANTORO**  
**0310830087**



**FAKULTAS PERIKANAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2008**

**PENGARUH PEMBERIAN TEPUNG RUMPUT LAUT *Gracilaria verrucosa*  
BENTUK LARUTAN DAN GEL TERHADAP KADAR GLUKOSA DARAH  
TIKUS WISTAR (*Rattus norvegicus*)**

**Laporan Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
Perikanan pada Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya**

**URIP FITRIANTORO**

**0310830087**

**DOSEN PENGUJI I**

**Prof. Dr. Ir. T.J MOEDJIHARTO. M AppSc**

**Tanggal :**

**DOSEN PENGUJI II**

**Ir. DWI SETYAWATI. Mkes**

**Tanggal :**

**MENYETUJUI,  
DOSEN PEMBIMBING I**

**(DR. Ir. HARDOKO, MS)**

**Tanggal :**

**DOSEN PEMBIMBING II**

**(Ir. BAMBANG BUDI S, MS)**

**Tanggal :**

**MENGETAHUI,  
KETUA JURUSAN**

**(Ir. MAHENO SRI WIDODO, MS)**

**Tanggal :**



## DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL FAKULTAS PERIKANAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

### KARTU REVISI

Nama / NIM : URIP FITRIANTORO / 0310830087  
 Jurusan : THP  
 Nama Dosen Pembimbing : Dr. Ir. HARDOKO, MS  
 Ir. BAMBANG BUDI S, MS  
 Nama Dosen Penguji : Prof. Dr. Ir. T.J. MOEDJIHARTO, MappSc  
 Ir. DWI SETYAWATI, MKes  
 Judul : Pengaruh Pemberian Tepung Rumput laut *Gracilaria verrucosa*  
 Bentuk Gel Dan Larutan Terhadap Kadar Glukosa Darah Tikus  
 Wistar (*Rattus novergicus*)

No	Hal	Sebelum Revisi	Setelah Revisi	Ket.
1.	iv	Tidak formal	Sudah diperbaiki	Kata Pengantar
2.	v	Pengaturan spasi	Sudah diperbaiki	Daftar Isi
3.	11	Pengaturan spasi	Sudah diperbaiki	Bab 2
4.	12	Pengaturan spasi	Sudah diperbaiki	Bab 2
5.	14	Pengaturan spasi	Sudah diperbaiki	Bab 2
6.	23	Pengaturan judul tabel	Sudah diperbaiki	Bab 2
7.	25-26	Pengaturan paragraf	Sudah diperbaiki	Bab 2
8.	41-45	Mencantumkan metode pada lampiran	Sudah dicantumkan	Bab 3
9.	51	Pengaturan judul tabel	Sudah diperbaiki	Bab 4
10.	55	Pengaturan judul tabel	Sudah diperbaiki	Bab 4
11.	60	Pengaturan judul tabel	Sudah diperbaiki	Bab 4
12.	68	Pengaturan tabel	Sudah diperbaiki	Bab 4
13.	84	murray, et al.,1999	Murray, et al.,1999	Bab 5
14.	96	<i>IntestinalDdigestive Enzyme</i>	<i>Intestinal Digestive Enzyme</i>	Daftar Pustaka
15	46	Cuci dengan 2 x 10 ml etanol 95 % dan...	Untuk mengetahui kadar serat tak larut air, sampel yang telah disaring menggunakan <i>cruicible</i> kering dicuci dengan 2 x 10 ml etanol 95 % dan...	Bab 3
16	46	Atur volume filtrat menjadi 100 ml	Untuk mengetahui kadar serat larut air, sampel yang telah disaring	Bab 3

			menggunakan <i>cruicible</i> kering diatur volume filtratnya menjadi 100 ml dengan air	
17	4	Menambahkan perumusan masalah	Sudah dicantumkan	Bab 1
18	5	Adapun tujuan secara khusus	Tujuan khusus dari penelitian ini	Bab 1
19	5	Untuk mengetahui	Untuk menentukan	Bab 1
20	10	Aslan, 1991	Aslan (1991)	Bab 2
21	11	Suriawiria, 2003	Suriawiria (2003)	Bab 2
22	11	Suptijah, 2002	Suptijah (2002)	Bab 2
23	11	Winarno, 1990	Winarno (1990)	Bab 2
24	13	Agar-agar yang diperdagangkan harus memenuhi standar industri Indonesia, yaitu :	Agar-agar yang diperdagangkan harus memenuhi standar industri Indonesia yang disajikan dalam Tabel 4.	Bab 2
25	30-32	Pengaturan paragraf	Sudah diperbaiki	Bab 3
26	32	g	gram	Bab 3
27	34	Faktor A	Faktor A (Bentuk rumput laut)	Bab 3
28	34	Faktor B	Faktor A (Konsentrasi rumput laut)	Bab 3
29	35	Adalah sebagai berikut	Seperti pada tabel	Bab 3
30	35-36	Tepung agar	Tepung rumput laut	Bab 3
31	37	kira-kira 3 hari. Hal ini berdasarkan pada penelitian terdahulu	kira-kira 3 hari. Hal ini berdasarkan pada penelitian terdahulu (Martha, 2004)	
32	39	Ad libithum	<i>Ad libithum</i>	Bab 3
33	40	Dosis glibenklamid yang diberikan adalah 0,378 mg/200 gram berat tikus	Dosis glibenklamid yang diberikan adalah 0,378 mg/200 gram berat badan tikus (Lampiran 9)	Bab3
34	54, 56, 57, 61, 65, 69, 70	Pengaturan legend gambar	Sudah diperbaiki	Bab 4
35	85-92	Mencantumkan keterangan pada gambar	Sudah dicantumkan	Bab 4

**MENYETUJUI,**

**DOSEN PENGUJI I**

**DOSEN PEMBIMBING I**

**Prof. Dr. Ir. T.J. MOEDJIHARTO, MappSc**  
**TANGGAL :**

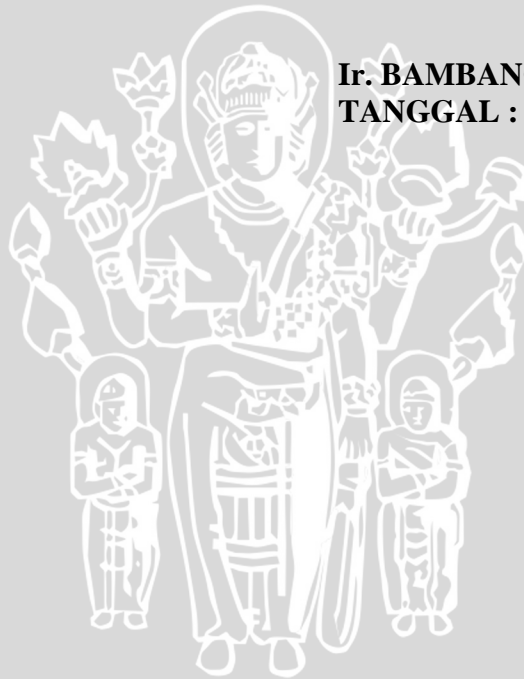
**Dr. Ir. HARDOKO, MS**  
**TANGGAL :**

**DOSEN PENGUJI II**

**DOSEN PEMBIMBING II**

**Ir. DWI SETYAWATI, MKes**  
**TANGGAL :**

**Ir. BAMBANG BUDI S., MS**  
**TANGGAL :**



## KATA PENGANTAR

Syukur penulis persembahkan kehadiran Allah SWT, Tuhan semesta alam yang telah memberi penulis kekuatan, kesempatan, kemauan, dan kemampuan untuk menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Pengaruh Pemberian Tepung Rumput Laut *Gracilaria verrucosa* Bentuk Larutan dan Gel Terhadap Kadar Gula Darah tikus Wistar (*Rattus novergicus*)”. Laporan ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Perikanan di Fakultas Perikanan, Universitas Brawijaya, Malang.

Seiring dengan selesainya laporan ini, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

- ❖ DR. Ir. Hardoko,MS dan Ir. Bambang Budi S,MS selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penyusunan laporan ini.
- ❖ Prof. Dr. Ir. T.J Moedjiharto. M AppSc dan Ir. Dwi Setyawati. Mkes selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan laporan ini.
- ❖ Bapak, ibu, kakak, adik, serta seluruh keluarga yang telah memberikan cinta, kasih dan sayang yang tulus.
- ❖ Pak Yuli (PAU), atas bantuannya selama berada di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Laporan ini mungkin jauh dari kesempurnaan karena kesempurnaan hanya milik-Nya. Saran dan kritik yang membangun penulis butuhkan untuk esok yang lebih baik.

Malang, Maret 2008

Penulis

repository.ub.ac

SEMINAR TINGKAT SARJANA TEKNOLOGI HASIL PERIKANAN  
FAKULTAS PERIKANAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

---

<b>Judul</b>	<b>: Pengaruh Pemberian Rumput Laut <i>Gracilaria verrucosa</i> Bentuk Larutan dan Gel Terhadap Kadar Gula Darah Tikus Wistar (<i>Rattus norvegicus</i>)</b>
<b>Pembawa Seminar</b>	<b>: Urip Fitriantoro / 0310830087</b>
<b>Dosen Pembimbing</b>	<b>: I. Dr. Ir. Hardoko, MS II. Ir Bambang Budi Sasmita, MS</b>
<b>Hari/Tanggal</b>	<b>: Senin, 7 Januari 2008</b>
<b>Waktu</b>	<b>: 08.00 WIB</b>
<b>Tempat</b>	<b>: Ruang Seminar I</b>

---

### PENDAHULUAN

Keinginan manusia untuk mengonsumsi makanan lezat, cepat saji dan berlemak menimbulkan konsekuensi timbulnya penyakit degeneratif. Penyakit degeneratif adalah penyakit yang disebabkan tidak bekerja secara maksimalnya organ dalam tubuh manusia. Beberapa penyakit degeneratif yang saat ini semakin banyak diderita masyarakat adalah kegemukan, *diabetes mellitus*, jantung koroner, stroke, kolesterol tinggi, susah buang air besar, timbul wasir dan kanker usus.

Diabetes adalah suatu penyakit, dimana tubuh penderitanya tidak bisa secara otomatis mengendalikan tingkat gula (glukosa) dalam darahnya. Pada tubuh yang sehat, pankreas melepas hormon insulin yang bertugas mengangkut gula melalui darah ke otot-otot dan jaringan lain untuk memasok energi. Diabetes merupakan gangguan metabolisme (*metabolic syndrome*) dari distribusi gula oleh tubuh. Penderita diabetes tidak bisa memproduksi insulin dalam jumlah yang cukup atau tubuh tidak mampu menggunakan insulin secara efektif, sehingga terjadilah kelebihan gula dalam darah. Kelebihan gula yang kronis di dalam darah (*hiperglikemia*) ini menjadi racun bagi tubuh. Sebagian glukosa yang tertahan di dalam darah itu melimpah ke sistem urin untuk dibuang melalui urin. (Lanywati, 2006)

Dari hasil penelitian Agustin (2006), menunjukkan bahwa pemberian tepung agar dari *Gracilaria verrucosa* bentuk larutan dan gel dengan konsentrasi yang berbeda mampu menurunkan kadar lipid darah tikus wistar. Pemberian rumput laut jenis gel lebih efektif dalam menurunkan kadar lipid darah tikus. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh pemberian rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* yang dimodifikasi dalam bentuk gel dan larutan terhadap penurunan kadar gula darah.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pangan dan Gizi, Pusat Antar Universitas (PAU) Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta pada bulan Juni-Juli 2007.

### METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan rancangan percobaan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor perlakuan yaitu bentuk rumput laut *Gracilaria verrucosa* (A) yang terdiri dari bentuk larutan dan gel, dan faktor

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

konsentrasi pemberian rumput laut *Gracilaria verrucosa* (B) yang terdiri dari konsentrasi 5 %, 7,5% dan 10%. Perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali. Adapun pengamatan yang dilakukan pada hari ke 0, 3, 6, 12, 15, dan 18 digunakan sebagai kelompok pengamatan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Tukey. Untuk perlakuan kontrol digunakan tikus dengan perlakuan tanpa pemberian rumput laut (K-) dan tikus dengan perlakuan pemberian obat *glibenklamid* (K+)

Parameter uji yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi analisis proksimat tepung agar, ransum standar (kadar air, protein, lemak, abu, karbohidrat), kadar serat makanan tepung agar, kadar glukosa darah tikus, kadar glukosa urin, jumlah ransum yang dikonsumsi, dan berat badan tikus.

## HASIL PENELITIAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa interaksi antara bentuk, konsentrasi, dan lama konsumsi rumput laut *Gracilaria verrucosa* dapat menurunkan kadar glukosa darah tikus putih wistar (*Rattus norvegicus*). Pada penambahan rumput laut dalam bentuk gel memberikan pengaruh yang lebih baik dibandingkan penambahan rumput laut bentuk larutan dalam menurunkan kadar glukosa darah. Semakin tinggi konsentrasi rumput laut yang diberikan maka penurunan kadar glukosa darah akan semakin cepat. Secara keseluruhan, untuk tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk gel pada konsentrasi 10 % memberikan penurunan kadar glukosa darah paling cepat Untuk tikus dengan perlakuan gel 10 % mengalami penurunan dari 198,21 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 96,20 mg/dl pada hari ke 18. Namun, pengaruh obat anti diabetik *glibenklamid* menunjukkan pengaruh yang lebih baik. Untuk tikus dengan perlakuan pemberian obat anti diabetik *glibenklamid* mengalami penurunan dari 198,39 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 93,70 mg/dl pada hari ke 18.

### Rerata kadar glukosa darah tikus selama penelitian

Hari ke-	Kontrol (+)	Kontrol (-)	Gel 5 %	Gel 7,5 %	Gel 10 %	Larutan 5 %	Larutan 7,5 %	Larutan 10 %
0	198.39±5.43	197.59±2.81	203.11±1.45	201.78±2.42	198.21±2.24	200.66±4.84	204.54±7.03	200.92±4.15
3	162.38±2.73	197.72±1.67	169.91±2.06	166.43±2.43	166.88±3.43	175.22±5.96	171.74±6.28	172.47±10.87
6	126.9±1.45	195.58±0.4	164.16±3.19	155.45±3.82	149.21±4.02	169.29±5.83	161.57±7.05	159.65±18.82
9	124.9±0.81	195.18±0.4	158.93±3.68	151.7±3.04	143.05±4.26	153.54±2.91	153.4±6.47	153.58±19.1
12	122.89±0.4	194.91±0.23	153.71±3.95	147.15±2.62	137.43±3.07	150.46±2.73	146.04±2.29	149.71±19.8
15	98.66±0.84	194.78±0.4	134.84±4.19	132.56±3.22	121.1±2.01	137.34±3.57	135.87±1.62	135.59±25.96
18	93.71±0.62	194.24±0.84	116.1±3.37	104.85±1.4	96.2±1.06	124.09±0.81	115.25±0.81	118.86±30.73

Hasil dari analisis histopatologi pankreas menunjukkan adanya perbaikan sel  $\beta$  pankreas yang rusak setelah injeksi *alloxan* secara bertahap. Pemberian rumput laut *Gracilaria verrucosa* menyebabkan kondisi sel  $\beta$  pankreas membaik.



Bentuk rumput laut yang berbeda (gel dan larutan) tidak memperlihatkan pengaruh yang signifikan terhadap berat badan, konsumsi pakan dan berat feses. Secara fisik, bentuk gel rumput laut tidak terlalu berbeda dengan bentuk larutannya sehingga tidak berpengaruh terhadap berat badan, konsumsi pakan dan berat feses tikus. Hal inilah yang mengakibatkan perbedaan bentuk rumput laut *Gracilaria verrucosa* yang diberikan kepada tikus percobaan tidak mempengaruhi pola makan dan pencernaan tikus.

### KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa interaksi antara bentuk, konsentrasi, dan lama konsumsi rumput laut *Gracilaria verrucosa* dapat menurunkan kadar glukosa dara tikus putih wistar (*Rattus norvegicus*).

### SARAN

Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai pengaruh rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk garam (K, Na dan Ca) terhadap kadar glukosa darah.

### DAFTAR PUSTAKA

Agustin, E. W. 2004. *Pengaruh Pemberian Rumput Laut Gracilaria verrucosa Bentuk Larutan dan Gel Secara Parenteral Terhadap Kadar Lipid Darah Tikus Wistar (Rattus norvegicus)*. Laporan Skripsi. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang. Tidak diterbitkan.hal 60.

Lanywati, E. 2006. *Diabetes Mellitus Penyakit Kencing Manis*. Penerbit Kanius. Yogyakarta. 40 Hal.

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dr. Ir. Hardoko, MS**

**Ir. Bambang Budi S, MS**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>RINGKASAN</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xi
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Kegunaan Penelitian .....	5
1.5. Hipotesis .....	6
1.6. Tempat dan Waktu .....	6
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Rumpun Laut .....	7
2.2. Biologi dan klasifikasi <i>Gracilaria verrucosa</i> .....	9
2.3. Agar.....	12
2.4. Serat Makanan .....	15
2.4.1 Definisi dan Macam-macam Serat Makanan.....	15
2.4.2 Manfaat dan Mekanisme Serat Makanan dalam Pencernaan .....	19
2.5 Serat Makanan pada Penurunan Glukosa Darah.....	21
2.6. Glukosa Darah dan <i>Diabetes Mellitus</i> .....	22
2.7. Fisiologi dan Patologi <i>Diabetes Mellitus</i> .....	24
2.8. Glukosa Urin .....	26
<b>3. MATERI DAN METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Materi Penelitian .....	28
3.1.1. Bahan Penelitian .....	28
3.1.1.1. Bahan Yang Diuji .....	28
3.1.1.2. Bahan untuk Ransum .....	28
3.1.1.3. Bahan untuk Analisis kimia .....	29
3.1.2. Alat Penelitian .....	30
3.2. Metode Penelitian .....	32
3.2.1. Perlakuan dan Rancangan Percobaan .....	32
3.2.2. Parameter Uji Penelitian .....	34
3.3. Prosedur Penelitian .....	34
3.3.1. Preparasi Bahan uji .....	34
3.3.2. Pembuatan Ransum pada Tikus Percobaan .....	36
3.3.3. Pembuatan Tikus <i>Hiperglikemia</i> .....	37
3.3.4. Pelaksanaan Percobaan .....	39
3.4. Parameter Uji Percobaan .....	41
3.4.1. Prosedur Analisis Parameter Uji .....	4

3.4.1.1 Kadar Air .....	41
3.4.1.2 Kadar Protein .....	42
3.4.1.3 Kadar Lemak .....	42
3.4.1.4 Kadar Abu .....	42
3.4.1.5 Kadar Karbohidrat .....	43
3.4.1.6 Kadar Serat Makanan .....	43
3.4.1.7 Kadar Glukosa Darah .....	45
3.4.1.8 Kadar Glukosa Urin .....	46
3.4.1.9 Jumlah Ransum yang Dikonsumsi dan Berat Badan Tikus .....	47
3.4.1.10 Berat Feses .....	47
3.5. Analisis Data .....	47
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Komposisi Gizi Tepung Rumpun Laut dan Ransum .....	48
4.1.1. Hasil Analisis Proksimat .....	48
4.1.2. Hasil Analisis Serat Makanan Tepung Rumpun Laut <i>Gracilaria verrucosa</i> .....	49
4.2 Pengkondisian Tikus <i>Hyperglukemia</i> .....	50
4.3 Pengaruh Penambahan Rumpun Laut <i>Gracilaria verrucosa</i> Bentuk Larutan dan Gel Terhadap Berat Badan, Konsumsi Pakan, Berat Feses, Kadar Glukosa Darah dan Glukosa Urin Tikus Wistar <i>Hyperglukemia</i> .....	51
4.3.1 Berat Badan .....	51
4.3.2 Konsumsi Pakan .....	56
4.3.3 Berat Feses .....	60
4.3.4 Kadar Glukosa Darah .....	64
4.3.5 Kadar Glukosa Urin .....	79
4.4 Histopatologi Pankreas .....	80
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	94
5.2. Saran .....	94
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	95
<b>LAMPIRAN</b> .....	100

**DAFTAR TABEL**

Tabel	Halaman
1. Kandungan unsur-unsur makro pada rumput laut. ....	11
2. Kandungan gizi rumput laut.....	11
3. Kandungan unsur makro pada rumput laut merah.....	12
4. Standar industri Indonesia untuk produk agar .....	14
5. Batas kadar glukosa darah (mg/dl). ....	23
6. Komposisi ransum standar dan ransum perlakuan .....	29
7. Denah rancangan faktor perlakuan .....	33
8. jumlah larutan dan gel yang diberikan pada 1 ekor tikus .....	36
9. hasil analisis proksimat tepung rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> .....	50
10. Hasil analisis proksimat pakan tikus.....	51
11. Hasil analisis serat makanan .....	52
12. Data rerata berat badan tikus (gram) .....	55
13. Data konsumsi pakan tikus (gram/ekor/hari) .....	60
14. Data berat feses tikus (g/ekor/hari) .....	63
15. Data kadar glukosa darah tikus.....	68
16. Hasil uji kadar glukosa urin .....	82
17. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus normal dan..... <i>hyperglikemia</i> (perbesaran 1000X).....	83
18. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan kontrol (-) (perbesaran 1000X) .....	84
19. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan kontrol (+) (perbesaran 1000X) .....	85
20. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan .....	
gel 5,0% (perbesaran 1000X) .....	87
21. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan.....	
gel 7,5% (perbesaran 1000X) .....	88
22. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan .....	
gel 10,0% (perbesaran 1000X) .....	89
23. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan.....	
larutan 5,0% (perbesaran 1000X).....	91

24. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan .....  
larutan 7,5% (perbesaran 1000X) ..... 92

25. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan .....  
larutan 10,0% (perbesaran 1000X) ..... 93



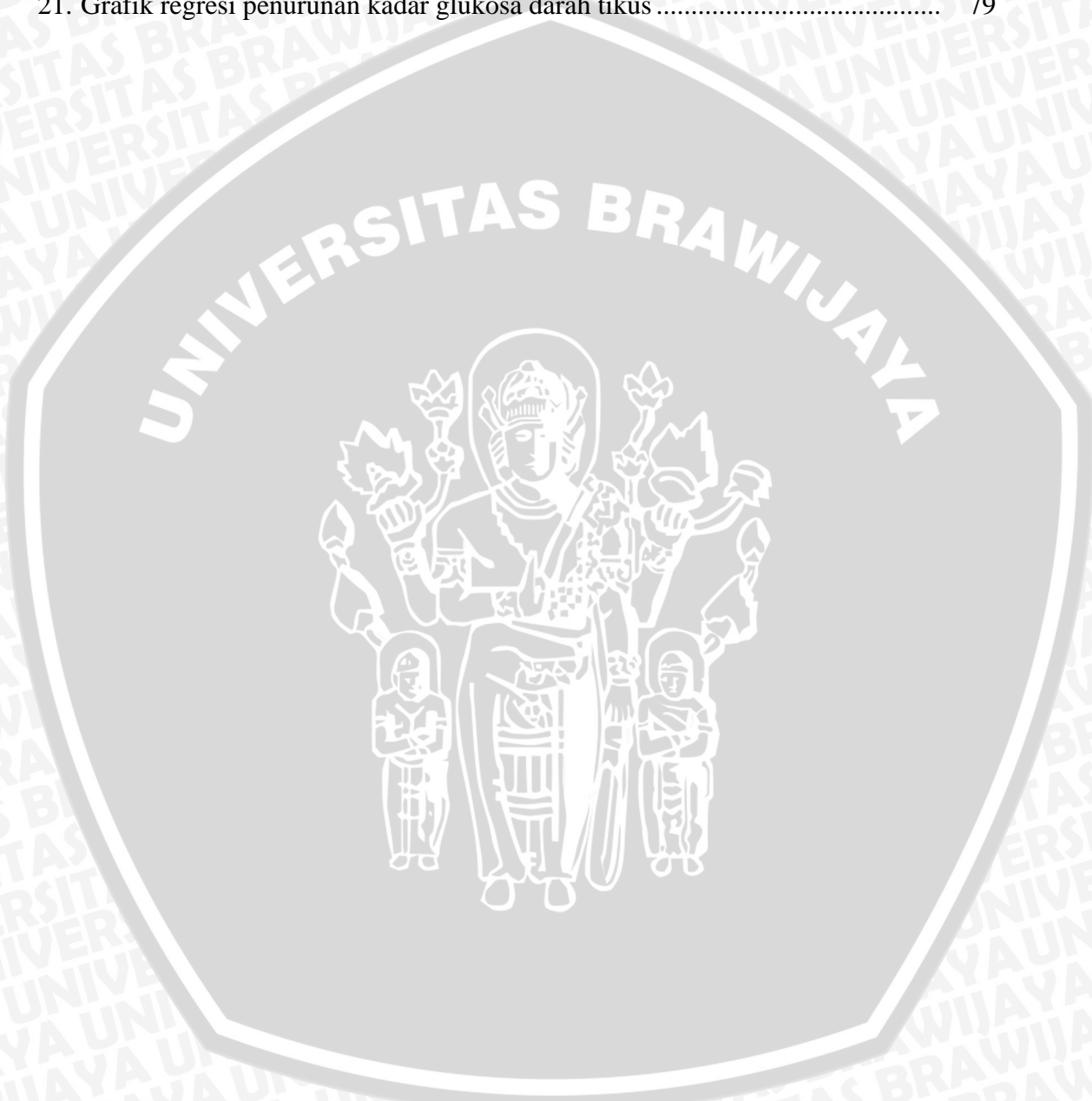
## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Rumus bangun agar-agar .....	14
2. Cara memodifikasi rumput laut menjadi bentuk gel dan larutan .....	35
3. Proses pembuatan tepung rumput laut .....	35
4. Pengkondisian tikus <i>hyperglikemia</i> .....	38
5. Pelaksanaan percobaan .....	39
6. Histogram berat badan tikus hari ke-0 .....	54
7. Grafik pengaruh pemberian rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> terhadap berat badan tikus .....	56
8. Grafik laju pertumbuhan berat badan tikus .....	57
9. Grafik pengaruh pemberian rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> dalam konsentrasi berbeda terhadap berat badan tikus .....	58
10. Grafik pengaruh pemberian rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> dalam bentuk berbeda terhadap berat badan tikus.....	59
11. Grafik pengaruh pemberian rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> terhadap jumlah konsumsi pakan tikus.....	61
12. Grafik pengaruh pemberian rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> dalam bentuk berbeda terhadap jumlah konsumsi pakan tikus .....	61
13. Grafik pengaruh pemberian rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> dalam konsentrasi berbeda terhadap berat badan tikus .....	62
14. Grafik pengaruh pemberian rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> terhadap berat feses tikus.....	65
15. Grafik pengaruh perbedaan konsentrasi rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> terhadap berat feses tikus.....	66
16. Grafik pengaruh perbedaan bentuk rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> terhadap berat feses tikus.....	67
17. Grafik pengaruh pemberian rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> terhadap kadar glukosa darah tikus .....	69
18. Grafik pengaruh pemberian rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> terhadap laju perubahan kadar glukosa darah tikus.....	70

19. Grafik pengaruh perbedaan bentuk rumput laut *Gracilaria verrucosa* terhadap kadar glukosa darah tikus..... 71

20. Grafik pengaruh perbedaan konsentrasi rumput laut *Gracilaria verrucosa* terhadap kadar glukosa darah tikus..... 72

21. Grafik regresi penurunan kadar glukosa darah tikus ..... 79



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran	Halaman
1. Komposisi mineral <i>mix</i> dalam 1000 g .....	97
2. Komposisi vitamin "Superviton" setiap 2 kaplet .....	98
3. Perhitungan konsentrasi tepung rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i> .....	99
4. Analisis data berat feses tikus per 3 hari (g) .....	100
5. Analisis data berat badan tikus per 3 hari (g) .....	104
6. Analisis data konsumsi pakan tikus per 3 hari (g) .....	108
7. Analisa data kadar glukosa darah tikus (mg/dl) .....	112
8. Analisa data berat badan tikus hari ke- 0 (gram/ekor) .....	116
9. Prosedur analisis proksimat .....	118
10. Foto-foto penelitian.....	121





## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Keinginan manusia untuk mengkonsumsi makanan lezat, cepat saji dan berlemak menimbulkan konsekuensi timbulnya penyakit degeneratif. Penyakit degeneratif adalah penyakit yang disebabkan tidak bekerja secara maksimalnya organ dalam tubuh manusia. Beberapa penyakit degeneratif yang saat ini semakin banyak diderita masyarakat adalah kegemukan, *diabetes mellitus*, jantung koroner, stroke, kolesterol tinggi, susah buang air besar, timbul wasir dan kanker usus.

Diabetes adalah suatu penyakit, dimana tubuh penderitanya tidak bisa secara otomatis mengendalikan tingkat gula (glukosa) dalam darahnya. Pada tubuh yang sehat, pankreas melepas hormon insulin yang bertugas mengangkut gula melalui darah ke otot-otot dan jaringan lain untuk memasok energi. Diabetes merupakan gangguan metabolisme (*metabolic syndrome*) dari distribusi gula oleh tubuh. Penderita diabetes tidak bisa memproduksi insulin dalam jumlah yang cukup, atau tubuh tidak mampu menggunakan insulin secara efektif, sehingga terjadilah kelebihan gula di dalam darah. Kelebihan gula yang kronis di dalam darah (*hyperglikemia*) ini menjadi racun bagi tubuh. Sebagian glukosa yang tertahan di dalam darah itu melimpah ke sistem urin untuk dibuang melalui urin. Air kencing penderita diabetes yang mengandung gula dalam kadar tinggi tersebut menarik bagi semut, karena itulah gejala ini disebut juga gejala kencing manis. (Yunia, 2007)

*Diabetes mellitus*, penyakit gula, atau penyakit kencing manis, diketahui sebagai suatu penyakit yang disebabkan oleh adanya gangguan menahun terutama pada sistem metabolisme karbohidrat, lemak, dan juga protein dalam tubuh. Gangguan metabolisme

tersebut disebabkan kurangnya produksi hormon insulin, yang diperlukan dalam proses pengubahan gula menjadi tenaga serta sintesis lemak (Lanywati, 2006).

Semakin banyak variasi makanan yang dikonsumsi, maka kandungan seratnya semakin banyak, disamping jumlah porsi yang dimakan. Beberapa kebiasaan seperti membiasakan makan buah, memilih sarapan pagi yang banyak mengandung serat, memilih camilan yang mengandung banyak serat seperti agar-agar (rumput laut), biskuit yang mengandung banyak serat atau minuman sereal, dapat meningkatkan konsumsi serat untuk tubuh kita (Gsianturi, 2002).

Serat adalah makanan berbentuk karbohidrat kompleks yang banyak terdapat pada dinding sel tanaman pangan. Walaupun tidak dapat dicerna serta diserap oleh saluran pencernaan manusia, serat memiliki fungsi yang sangat penting untuk menjaga kesehatan, pencegahan terhadap penyakit degeneratif dan sebagai komponen penting dalam terapi gizi (Anonymous, 2007<sup>a</sup>). Bahan-bahan makanan yang tinggi akan kandungan serat diantaranya adalah dedak (berasal dari gandum dan *oat* sampai *buckwheat* dan jagung), kacang-kacangan (*unblandchednut*), *legume* (dari pea sampai limas/beras lainnya), umbi-umbian (dari kentang sampai kacang tanah) dan buah-buahan (Linder, 1992).

Kandungan serat pangan (*dietary fiber*) rumput laut yang mencapai 25-75 % dari berat kering adalah tergolong tinggi, termasuk di dalamnya adalah serta pangan terlarut sejumlah 51-85 % seringkali dikaitkan dengan efek menyehatkan dari rumput laut (Firdaus, 2005). Ditambahkan oleh Astawan (2004) bahwa rumput laut banyak terdapat di laut yang mengelilingi Indonesia. Jenis pangan ini mengandung perbagai unsur gizi dan sifat-sifat yang bisa menurunkan kadar kolesterol dan gula darah.

Rumput laut sebagai salah satu sumber hayati laut bila diproses akan menghasilkan senyawa *hidrokoloid* yang merupakan produk dasar (hasil proses metabolisme primer). Senyawa *hidrokoloid* yang berasal dari rumput laut komersial di Indonesia antara lain agar (dihasilkan dari jenis *agarofit*), karaginan (dari jenis *karaginofit*), dan alginat (dari jenis *alginofit*) (Anggadiredja, *et al.*, 2006).

Hidrokoloid adalah suatu polimer larut dalam air, mampu membentuk koloid dan mampu mengentalkan larutan atau membentuk gel dari larutan tersebut. Secara bertahap istilah hidrokoloid yang merupakan kependekan dari koloid hidrofilik ini menggantikan istilah gum karena dinilai istilah gum tersebut terlalu luas artinya. Gum adalah molekul dengan bobot molekul tinggi bersifat hidrofilik maupun hidrofobik, biasanya bersifat koloid dan dalam bahan pengembang yang sesuai dapat membentuk gel, larutan ataupun suspensi kental pada konsentrasi yang sangat rendah. Berdasarkan definisi di atas, maka hidrokarbon berbobot molekul tinggi dan produk-produk sampingan dari minyak bumi yang umumnya larut dalam minyak termasuk dalam golongan gum karena memenuhi kriteria di atas. (Anonymous, 2006<sup>c</sup>)

Hampir semua penduduk Indonesia mengenal agar-agar. Masyarakat luas lebih mengenal agar-agar sebagai hidangan pencuci mulut yang lezat dan menarik. Sifat yang paling menonjol dari agar-agar adalah memiliki daya gelasi (kemampuan membentuk gel), viskositas (kekentalan), *setting point* (suhu pembentukan gel), dan *melting point* (suhu mencairnya gel) yang sangat menguntungkan untuk dipakai pada dunia industri pangan maupun non pangan. (Astawan, 2004)

Pada umumnya rumput laut dapat diolah menjadi makanan misalnya permen *jelly*, manisan, dodol dan minuman dengan metode dan peralatan yang sederhana.

Pembuatan makanan ini dimaksudkan untuk meningkatkan nilai tambah rumput laut dan diversifikasi olahan rumput laut (Anonymous, 2003<sup>a</sup>).

Dari hasil penelitian Agustin (2006), menunjukkan bahwa pemberian tepung agar dari *Gracilaria verrucosa* bentuk larutan dan gel dengan konsentrasi yang berbeda dan lama konsumsi mampu menurunkan kadar lipid darah tikus wistar. Pemberian rumput laut jenis gel lebih efektif dalam menurunkan kadar lipid darah tikus.

Dengan demikian perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh pemberian rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* yang dimodifikasi dalam bentuk gel dan larutan terhadap penurunan kadar gula darah.

## 1.2 Perumusan Masalah

*Diabetes mellitus* merupakan salah satu penyakit degeneratif yang cukup banyak ditemukan di Indonesia. Dengan berubahnya pola hidup masyarakat dan perubahan sosial ekonomi ke arah pola hidup ala Barat seperti yang mulai tampak di kota-kota besar di Indonesia, diperkirakan bahwa penyakit *diabetes mellitus* akan semakin menjadi persoalan kesehatan masyarakat.

Rumput laut yang banyak mengandung serat telah lama dikenal dan banyak dimanfaatkan oleh masyarakat. Penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa pemberian rumput laut pada ransum makanan dapat menurunkan kadar glukosa darah karena rumput laut merupakan salah satu penghasil serat makanan yang mampu mengoptimalkan kerja hormon insulin dalam tubuh.

Pemberian rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk gel dan larutan belum diketahui keefektifannya terhadap penurunan kadar glukosa darah. Sehingga perlu dikaji lebih lanjut pengaruh penambahan rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa*

dalam bentuk gel dan larutan serta konsentrasi yang paling efektif dalam menurunkan kadar glukosa darah.

Berdasarkan uraian diatas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Berapa konsentrasi optimal dari rumput laut merah *Gracilaria verrucosa* untuk menurunkan kadar gula darah?
2. Bentuk rumput laut merah *Gracilaria verrucosa* manakah yang paling efektif dalam menurunkan kadar gula darah dalam kondisi berlebih?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemberian rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* bentuk gel dan larutan terhadap kadar glukosa darah tikus wistar *hiperglikemia*.

Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah :

- Untuk menentukan efektifitas pemberian rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* bentuk gel dan larutan dalam menurunkan kadar glukosa darah.
- Untuk menentukan konsentrasi pemberian rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk gel dan larutan yang paling efektif dalam menurunkan kadar glukosa darah.

### 1.4 Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan nilai guna rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* sebagai salah satu komoditi perikanan serta untuk

mendapatkan informasi tentang peran rumput laut bentuk gel dan larutan dalam menurunkan kadar glukosa darah.

### 1.5 Hipotesis

Hipotesis yang dapat digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Diduga bahwa pemberian rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk gel lebih efektif dalam menurunkan kadar glukosa dalam darah tikus wistar *hyperglukemia*.
2. Diduga bahwa pemberian rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* pada konsentrasi 10,0 % lebih efektif dalam menurunkan kadar glukosa darah tikus wistar *hyperglukemia*.

### 1.6 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pangan dan Gizi, Pusat Antar Universitas (PAU) Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta pada bulan Juni-Juli 2007.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Rumput Laut

Rumput laut tumbuh dan tersebar hampir di seluruh perairan Indonesia. Tumbuhan ini bernilai ekonomis penting karena penggunaannya sangat luas dalam bidang industri kembang gula, kosmetik, es krim, media cita rasa, roti, saus, sutera, pengalengan ikan/daging, obat-obatan dan batang besi untuk solder/las. Selain itu, rumput laut juga memberi nilai tambah rumah tangga. Manisan rumput laut misalnya, dibuat dari rumput laut jenis *Eucheuma* yang berguna bagi kesehatan. Jenis ini dapat memperlancar sistem pencernaan disamping mengandung vitamin dan mineral (Anonymous, 2007<sup>b</sup>).

Rumput laut tergolong tanaman berderajat rendah, umumnya tumbuh melekat pada substrat tertentu, tidak mempunyai akar, batang maupun daun sejati tetapi hanya menyerupai batang yang disebut *thallus*. Rumput laut tumbuh di alam dengan melekatkan dirinya pada karang, lumpur, pasir, batu, dan benda keras lainnya. Selain benda mati, rumput lautpun dapat melekat pada tumbuhan lain secara *epifit* (Anggadiredja, *et al.*, 2006).

Rumput laut mempunyai banyak jenis yang terbagi berdasarkan warna/pigmennya yaitu *cholorophyceae* (alga hijau), *phaeophyceae* (alga coklat), *rhodophyceae* (alga merah), *cyanophyceae* (alga hijau-biru), *myxophyceae*, dan *xanthophyceae*. Alga hijau biru, banyak yang hidup dan berkembang di air tawar. Jenis alga ini mempunyai arti penting sebagai bahan makanan. Sebaliknya, alga cokelat dan alga merah merupakan penghuni laut yang cukup eksklusif dalam kedudukannya sebagai bahan pangan dan nonpangan (Haryanto, 2005).

Rumput laut banyak digunakan sebagai bahan baku industri. Contohnya yaitu alga coklat, yang digunakan untuk bahan baku es krim, pengolahan tekstil, pabrik farmasi, semir sepatu, dan pabrik cat. Alga merah digunakan untuk bahan baku industri makanan, farmasi, penyamakan kulit, dan pembuatan bir. Selain itu, Rumput laut dapat digunakan sebagai bahan untuk pupuk tanaman, campuran makanan ternak, dan juga bahan baku kosmetik. Rumput laut diketahui kaya akan nutrisi esensial, seperti enzim, asam nukleat, asam amino, mineral, *trace elements*, dan vitamin A, B, C, D, E, dan K. Karena kandungan gizinya yang tinggi, rumput laut mampu meningkatkan sistem kerja hormonal, limfatik, dan juga saraf. Selain itu, Rumput laut juga bisa meningkatkan fungsi pertahanan tubuh, memperbaiki sistem kerja jantung dan peredaran darah, serta sistem pencernaan (Suptijah, 2007).

Menurut Aslan (1991), alga merah mempunyai ciri-ciri morfologis sebagai berikut :

- Pertumbuhan bersifat *uniaksial* (satu sel di ujung *thallus*) dan *multiaksial* (banyak sel diujung *thallus*)
- Memiliki pigmen *fikobilin* yang terdiri dari *fikoeretrin* (berwarna merah) dan *fikosianin* (berwarna biru)
- Bersifat adaptasi *kromatik*, yaitu memiliki penyesuaian antara proporsi pigmen dengan berbagai kualitas pencahayaan yang dapat menimbulkan berbagai warna pada *thalli* seperti: merah tua, merah muda, pirang, coklat, kuning dan hijau.
- Mempunyai persediaan makanan berupa kanji (*floridean starch*)



- Dalam dinding selnya terdapat selulosa, agar, karagenan, *porpiran* dan *furselaran*. Contoh spesies ekonomis dari kelas ini seperti marga *Gracilaria*, *Gellidium*, *Euचेuma*, *Hypnea*, *Gigartina* dan *Rhodymenia*

Produksi rumput laut jenis alga merah (*red seaweeds*) dunia menunjukkan peningkatan yang cukup baik. Produksi rumput laut dunia pada tahun 2002 mencapai 2,6 juta ton. Jika dibandingkan dengan produksi tahun 1998 sebesar 1,8 juta ton, maka dalam kurun waktu 1998-2002, produksi rumput laut dunia mengalami kenaikan rata-rata sebesar 8,81 % pertahun. Berdasarkan produksi tahun 2002, maka negara yang mendominasi sebagai produsen rumput laut (alga merah) dunia terbesar adalah Philipina (34,34 %), kemudian China (26,05 %), Jepang (16,94%) dan Korea (8,69 %) dari produksi total. Sedangkan negara Indonesia baru bisa menempati posisi ke lima dengan volume produksi sebanyak 223.080 ton atau 8,66 % dari produksi rumput laut dunia (Anonymous, 2007<sup>a</sup>).

## 2.2 Biologi dan Klasifikasi *Gracilaria verrucosa*

*Gracilaria* merupakan salah satu agarofit yang memiliki nilai komersil. Keberadaan spesies ini cukup bervariasi yaitu sekitar seratus spesies tersebar di wilayah lautan baik tropis dan subtropis. Selain itu juga terdapat berbagai cara penamaan pada *Gracilaria* yang didasarkan pada morfologi, anatomi dan organ reproduksinya (Risjani, 2004).

Pertumbuhan *Gracilaria* umumnya lebih baik di tempat dangkal daripada di tempat dalam. Substrat tempat melekatnya dapat berupa batu, pasir, lumpur dan lain-lain. Kebanyakan lebih menyukai intensitas cahaya yang lebih tinggi. Suhu merupakan faktor penting untuk pertumbuhan dan pembiakan. Suhu optimum untuk pertumbuhan

adalah 20-28 °C, tumbuh pada kisaran kadar garam yang tinggi dan tahan sampai pada kadar garam 50 permil. Dalam keadaan basah dapat tahan hidup diatas permukaan air (*exposed*) selama satu hari (Aslan, 1991).

Klasifikasi *Gracilaria verrucosa* menurut Anggadiredja, *et al.*, (2006) adalah sebagai berikut :

Divisio/phylum	: Rhodophyta
Class	: Rhodophyceae
Ordo	: Gigartinales
Famili	: Gracilariaceae
Genus	: Gracilaria
Species	: <i>Gracilaria verrucosa</i>

Ciri-ciri *Gracilaria verrucosa* menurut Aslan (1991) adalah :

- *Thalli* berbentuk silindris atau gepeng dengan percabangan, mulai dari yang sederhana sampai pada yang rumit dan rimbun.
- Di atas percabangan umumnya bentuk *thalli* agak mengecil.
- Perbedaan bentuk, struktur dan asal-usul pembentukan organ reproduksi sangat penting dalam perbedaan tiap spesies.
- Warna *thalli* beragam, mulai dari warna hijau-coklat, merah, pirang, merah-coklat dan sebagainya.
- Substansi *thalli* menyerupai gel atau lunak seperti tulang rawan.

Kandungan unsur makro pada rumput laut dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Kandungan unsur makro pada rumput laut

Unsur	Kandungan (%)
Serat kasar	3,0
Protein	5,4
Lemak	8,60
Abu	22,25
Air	27,8
Karbohidrat	33,3

Sumber: Suriawiria (2003)

*Gracilaria verrucosa* menghasilkan agar setelah melalui proses ekstraksi. Dilihat dari struktur molekul, agar merupakan senyawa polisakarida dengan rantai panjang yang disusun oleh ulangan dari pasangan dua unit molekul *agarose* dan *agaropektin* (Anggadiredja, 2006).

Tabel 2. Kandungan gizi rumput laut

Unsur	Kandungan (%)
Mineral	K, Ca, P, Na, Fe, I
Protein	17,2 - 27,13 %
Lemak	0,08
Abu	1,5 %
Vitamin	A, B1, B2, B6, B12, C (caroten)
Karbohidrat	39 - 51 %

Sumber : Suptijah (2002)

Kandungan unsur mikro pada rumput laut jenis ganggang merah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan unsur mikro pada rumput laut jenis ganggang merah

Unsur	Kisaran kandungan dalam % berat kering
Chlor	1,5-3,5
Kalium	1,0-2,2
Natrium	1,0-7,9
Magnesium	0,3-1,0
Belerang	0,5-1,8
Silicon	0,2-0,3
Fosfor	0,2-0,3
Kalsium	0,4-1,5
Besi	0,1-0,15
Jod	0,1-0,15
Brom	> 0,005

Sumber: Winarno (1990)

### 2.3 Agar

Agar-agar merupakan suatu asam sulfurik, ester dari *galactan* linier. Bentuk gel diekstrak dari *agarophyt* dari kelompok *Rhodophyceae*. Penghasil agar –agar antara lain : *Gracilaria*, *Gelidium*, *Ahnfeltia*, *Pterocladia* dan dari jenis *Acanthopeltis*. Agar-agar tidak larut dalam air dingin, tetapi larut dalam air panas. Pada temperatur 32-39 °C berbentuk bekuan (solid) dan tidak mencair pada suhu dibawah 85 °C (Aslan, 1991).

Agar-agar adalah senyawa makromolekul polisakarida yang terkandung dalam beberapa jenis rumput laut khususnya yang tergolong pada *red algae*. Senyawa agar-agar, yang juga tergolong senyawa *hydrocolloid*, mempunyai sifat-sifat umum larut dalam air panas dan membentuk jeli kenyal bila diinginkan. Sifat tersebut dimungkinkan karena secara garis besar senyawa agar-agar merupakan rantai panjang polisakarida dan memiliki struktur molekul kombinasi berulang (*repeating unit*) secara bergantian dari dua unsur yaitu *agarose* bersifat netral yang kuat daya gelasinya (*gel strength*) dan *agaropectine*, bersifat asam yang lemah daya gelasinya (Anonymous, 2007°).

Agar-agar paling banyak digunakan sebagai hidrokoloid, terutama pada pangan, farmasi dan kosmetik. Bidang mikrobiologi dan bioteknologi lebih banyak menggunakan agar-agar dengan kemurnian yang tinggi, yang hanya dapat dipenuhi oleh produk impor, bahkan media pertumbuhan mikroorganisme dan preparasi kultur jaringanpun menggunakan agar-agar impor yang sangat banyak, yang merupakan tantangan bagi kita untuk merebutnya (Suptijah, 2002).

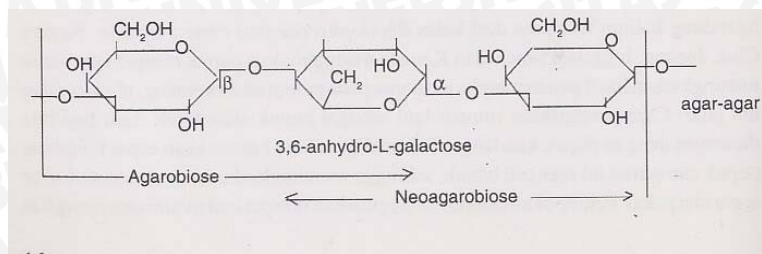
Tepung agar-agar adalah produk kering tak berbentuk (*amorphous*), mempunyai sifat-sifat seperti gelatin, dan merupakan hasil ekstraksi dari rumput laut jenis tertentu. Molekul agar-agar terdiri dari molekul linier *galaktan*. *Galaktan* adalah polimer *galaktosa* (Anonymuos 2004).

Menurut Anonymous (2003), pembuatan agar-agar tidaklah sulit. Peralatan dan bahan mudah diperoleh. Oleh karena itu, sangatlah baik bila petani rumput laut juga mengolah agar-agar. Agar-agar yang diperdagangkan harus memenuhi standar industri Indonesia yang disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Standar industri indonesia untuk produk agar-agar

Spesifikasi	Standar mutu
Kadar air	15-21 %
Kadar Abu	Maksimal 4 %
Kadar karbohidrat sebagai galaktan	Minimal 30 %
Logam berbahaya, Arsen	Negatif
Zat warna tambahan	Yang diperbolehkan untuk makanan dan minuman

Rumus bangun agar-agar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rumus bangun agar-agar (Aslan, 1991)

Kata “agar” dulunya sering disebut sebagai agar-agar, yaitu sebuah ekstrak bentuk gel dari jenis rumput laut merah tertentu, *agarophytes*. *Agaroid* adalah ekstrak lainnya dari jenis rumput laut merah lainnya pula yang disebut *agaroidophytes*. *Agaroidophytes* ini berbeda bentuk dengan agar dan lebih lunak daripada gel. Penamaan agar-agar digunakan oleh penduduk asli dari kawasan melayu dan sebetulnya ditujukan untuk istilah dari *Euचेuma* (Susanto, 2006).

Menurut Winarno (1990), dalam menyusun senyawa agar-agar, galaktan dapat berupa rantai linier yang netral ataupun yang sudah terekstraksi dengan metal atau asam sulfat. *Galaktan* yang sebageian monomer galaktosanya membentuk ester dengan metal disebut *agarose*. Sedangkan galaktan yang teresterkan dengan asam sulfat dikenal sebagai *agaropectin*.

Fungsi utama agar-agar adalah sebagai bahan pementap, penstabil, pengemulsi, pengental, pengisi, penjernih, pembuat gel, dan lain-lain. Agar-agar digunakan pada industri makanan, yaitu untuk meningkatkan viskositas sup dan saus, serta dalam pembuatan *fruit jelly*. Di Eropa dan Amerika, agar-agar digunakan sebagai bahan pengental pada industri es krim, jeli, permen, dan *pastry*. Agar-agar juga digunakan dalam pembuatan serbat, es krim, dan keju untuk mengatur keseimbangan dan

memberikan kehalusan. Di Jepang, agar-agar sering dimasak bersama-sama nasi untuk menghasilkan “nasi agar-agar” yang lengket dan kaya serat pangan (*dietary fiber*) sehingga lebih menguntungkan bagi kesehatan. Agar-agar juga digunakan sebagai penjernih pada berbagai industri minuman seperti bir, anggur, kopi, dan sebagai penstabil pada minuman cokelat. Di bidang kesehatan, seperti pada Perang Dunia II, agar-agar digunakan untuk membersihkan luka. Hal ini disebabkan dalam agar-agar terdapat komponen yang dapat menghentikan penggumpalan darah, sehingga luka mudah untuk dibersihkan (Anonymous, 2004).

Beberapa sifat dari agar-agar menurut Istini (2006) adalah :

- Pada suhu 25 °C dengan kemurnian tinggi tidak larut dalam air dingin tetapi larut dalam air panas.
- Pada suhu 32-39 °C berbentuk padat dan mencair pada suhu 60-97 °C pada konsentrasi 1,5 %.
- Dalam keadaan kering, agar-agar sangat stabil. Pada suhu tinggi dan pH rendah agar-agar mengalami degradasi
- Viskositas agar-agar pada suhu 45 °C, pH 4,5-9 dengan konsentrasi larutan 1 % adalah 2-10 cp

## 2.4. Serat Makanan

### 2.4.1 Definisi dan Macam-macam Serat Makanan

Definisi terbaru tentang serat makanan yang disampaikan oleh *the American Association of Cereal Chemist* (AACC, 2001) adalah merupakan bagian yang dapat dimakan dari tanaman atau karbohidrat analog yang resisten terhadap pencernaan dan

absorpsi pada usus halus dengan fermentasi lengkap atau partial pada usus besar. Serat makanan tersebut meliputi pati, polisakarida, oligosakarida, lignin dan bagian tanaman lainnya (Joseph, 2002).

Menurut Linder (1992), serat adalah bagian dari makanan yang tidak dapat tercerna secara enzimatis (enzim yang diproduksi oleh manusia) sehingga bukan sebagai sumber zat makanan. Serat adalah zat non gizi, ada dua jenis serat yaitu serat makanan (*dietry fiber*) dan serat kasar (*crude fiber*). Serat makanan adalah serat yang tetap ada di kolon atau usus besar setelah proses pencernaan, baik yang berbentuk serat yang larut air maupun yang tidak larut dalam air. Sedangkan serat kasar adalah serat tumbuhan yang tidak larut dalam air (Anonymous, 2006<sup>a</sup>).

Serat makanan terdapat didalam makanan nabati, seperti sayuran dan buah-buahan, merupakan bagian tumbuhan (dinding sel, daun, kulit buah, selaput biji-bijian, dan lain-lain) yang memiliki struktur berupa karbohidrat kompleks, sebagian besar berupa zat yang disebut selulosa dan hemiselulosa (Noortiningsih, 2006).

Studi menunjukkan bahwa dari seluruh bahan makanan yang dicerna dalam tubuh, 12 % diserap oleh dinding lambung, 60 % diserap oleh usus halus dan 28 % oleh *colon* (usus besar). Karena itu, faktor konsumsi makanan sangat besar pengaruhnya terhadap kesehatan tubuh manusia. Di beberapa negara, seperti Thailand dan Cina, selain diperlukan sebagai makanan dengan serat yang tinggi agar-agar juga digunakan sebagai makanan sarana *fortifikasi* garam yodium dan vitamin bagi masyarakat yang kekurangan gizi. Dengan memiliki sifat fisika-kimia *hydrophylic* sekaligus *syneresis*, agar-agar sebagai senyawa polisakarida rantai panjang yang banyak mengandung serat makanan tetap mampu melepaskan molekul-molekul air yang memadai sekalipun dalam tingkat kekuatan gelasi yang tinggi. Dengan kandungan sifat fisika-kimia *hydrophylic*



dan *syneresis* yang seimbang, penggunaan agar-agar sebagai *food supplement* serat makanan sangat baik dan aman (Anonymous, 2007<sup>f</sup>).

Menurut Wardlaw, *et al.*, (2004), berdasarkan kelarutannya serat dibagi menjadi 2 yaitu serat larut air dan serat tidak larut air.

### 1. Serat larut air (*Soluble Dietary Fiber*)

Serat yang *soluble* (larut air) cenderung bercampur dengan air dengan membentuk jaringan gel (seperti agar-agar) atau jaringan yang pekat. Serat dari sayur, buah, kacang-kacangan cenderung bersifat *soluble* (Widianarko, *et al.*, 2000). Yang termasuk serat larut air semisal *pektin* dan *gum*.

#### a. *Pektin*

*Pektin* secara umum terdapat didalam sel primer tanaman khususnya disela-sela antara *selulosa* dan *hemiselulosa*. Senyawa-senyawa *pektin* berfungsi sebagai bahan pelekat antara dinding sel yang satu dengan yang lain (Winarno, 1997). Beberapa diantaranya dapat diubah menjadi asam *pektinat* yang dapat larut dalam air dan dapat digunakan untuk mengikat cairan dalam pembuatan agar-agar. *Pektin* yang dipergunakan biasanya berasal dari kulit apel (Pilliang dan Djojosoebagio, 1996).

#### b. *Gum*

*Gum* merupakan serat makanan yang tersusun atas rantai galaktosa, asam *glukuronat* dan beberapa monosakarida. Fungsi dari *gum* adalah memperlambat penyerapan glukosa dan dapat menurunkan kadar kolesterol darah. *Gum* dapat ditemukan pada makanan seperti kacang-kacangan, sayur-sayuran, dan buah-buahan (Wardlaw, *et al.*, 2004).

## 2. Serat tidak larut air (*Insoluble Dietary Fiber*)

Serat *insoluble* (tidak larut air) umumnya bersifat *higroskopis*: mampu menahan air 20 kali dari beratnya. Serat yang berasal dari biji-bijian (*cereals*) umumnya bersifat *insoluble* (Widianarko, *et al.*, 2000). Yang termasuk serat tidak larut air yaitu *selulosa*, *hemiselulosa*, dan *lignin*.

### a. *Selulosa*

*Selulosa* merupakan serat panjang yang bersama-sama *hemiselulosa*, *pektin* dan protein membentuk struktur jaringan yang memperkuat dinding sel tanaman. Pada proses pematangan, penyimpanan atau pengolahan, komponen selulosa akan mengalami perubahan sehingga terjadi perubahan struktur (Winarno, 1997).

### b. *Hemiselulosa*

Secara struktural, *selulosa*, *hemiselulosa* dan *pektin* merupakan polimer gula yang berantai lurus maupun bercabang dengan jumlah molekul yang bervariasi (Olson *et al.*, 1987). *Hemiselulosa* merupakan serat makanan yang terdiri dari *xylosa*, *galaktosa*, glukosa dan beberapa senyawa monosakarida lainnya. Fungsi dari *hemiselulosa* adalah mengurangi waktu transit makanan di dalam usus (Wardlaw, *et al.*, 2004).

### c. *Lignin*

*Lignin* merupakan senyawa non karbohidrat (Wardlaw, *et al.*, 2004). Pada rumput laut, *lignin* akan berikatan ester dengan *hemiselulosa*. *Lignin* dapat menyebabkan polisakarida lebih sulit difermentasi. Hal ini disebabkan oleh adanya ikatan dan kesatuan fisik antara *lignin* dengan polisakarida lain dalam komponen pekat dinding sel (Olson, *et al.*, 1987).

## 2.4.2 Manfaat dan Mekanisme Serat Makanan dalam Pencernaan

Peran utama serat dalam makanan adalah kemampuannya untuk mengikat air terutama oleh selulosa dan pektin. Dengan adanya serat, akan membantu mempercepat keluarnya sisa-sisa makanan melalui saluran pencernaan untuk diekskresikan. Namun tanpa bantuan serat, feses dengan kandungan air rendah akan lebih lama tinggal dalam usus halus dan sukar diekskresikan, karena gerakan-gerakan peristaltik usus besar menjadi lebih lambat (Pilliang dan Djojosebagio, 1996).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa serat makanan yang terkandung dalam agar-agar sangat berguna mengaktifkan kerja usus (gerakan gelombang pada usus) untuk mengantarkan makanan yang menumpuk sehingga buang air besar lancar dan dapat mencegah sembelit. Agar-agar dapat pula membantu mencegah panas dalam dan sariawan. Selain itu agar-agar juga tergolong bahan makanan yang non kalori sehingga cocok untuk menu dalam mencegah kegemukan atau program diet. Dalam fungsinya sebagai *dietary fiber*, kemampuan serat molekul agar-agar mengabsorpsi (secara intermolekul) lemak jenuh dapat membantu mengurangi kelebihan lemak dalam proses pencernaan makanan (Anonymous, 2007<sup>e</sup>).

Menurut Jimenez-Eserig dan Sanches Muniz (2000), struktur kimia serat pangan yang terdapat dalam agar rumput laut adalah D-galaktosa dan 3,6-anhidro-L-galaktosa. Kandungan serat pangan rumput laut yang mencapai 25-75 % dari berat kering adalah tergolong tinggi, termasuk didalamnya adalah serat pangan terlarut sejumlah 51-85 % seringkali dikaitkan dengan efek menyehatkan dari rumput laut.

Selain merupakan bahan yang sehat, serat juga menjerat kelebihan lemak, kolesterol dan beberapa bahan berbahaya lainnya yang masuk dalam perut. Serat juga membuat kadar gula dalam darah menjadi normal, dan juga memberikan perlindungan

terhadap kanker usus (Diehl, 1990). Ditambahkan oleh Joseph (2002), serat makanan akan tinggal dalam saluran pencernaan dalam waktu relatif singkat sehingga absorpsi zat makanan berkurang. Selain itu makanan yang mengandung serat yang relatif tinggi akan memberikan rasa kenyang karena komposisi karbohidrat kompleks yang menghentikan nafsu makan sehingga mengakibatkan turunnya konsumsi makanan. Makanan dengan kandungan serat kasar relatif tinggi biasanya mengandung kalori rendah, kadar gula dan lemak rendah yang dapat membantu mengurangi terjadinya obesitas dan penyakit jantung.

Menurut Linder (1992), serat yang kaya *selulose* merangsang pemindahan bahan makanan dalam/melalui saluran pencernaan. Pektin yang banyak membawa air dengan bentuk gel dan *gum* menghambat pengosongan lambung karena pembentukan gel dalam usus kecil maka juga menghambat penyerapan monosakarida.

Kandungan serat dalam agar-agar selain bersifat *hydrophyllic* (larut dalam air/menarik molekul air) sekaligus bersifat *syneresis* (melepaskan molekul air). Kedua sifat ini menyebabkan pada saat larut dalam air (menyerap molekul air) akan membentuk larutan koloidal (atau bahkan kenyal), sedangkan pada suasana tertentu agar-agar juga melepaskan molekul air. Yang lebih menarik dari senyawa agar-agar adalah mudahnya tercapai keseimbangan antara sifat *hydrophyllic* dan *syneresis*, bila dibandingkan dengan senyawa *hydrocolloid* lainnya. Fakta ini menepis kekhawatiran terjadinya gangguan penyerapan nutrisi, gangguan proses pencernaan makanan bahkan *ileus* (sumbatan usus) akibat mengkonsumsi agar-agar (Anonymous, 2007<sup>f</sup>).

## 2.5 Serat Makanan pada Penurunan Glukosa Darah

Semua rumput laut kaya akan kandungan serat yang dapat mencegah kanker usus besar. Serat dapat melancarkan pencernaan dengan membentuk zat seperti gelatin dalam usus halus dan meningkatkan kadar air dalam feses. Konsumsi serat dapat membantu metabolisme lemak sehingga menurunkan kadar kolesterol darah dan gula darah. Rumput laut juga membantu pengobatan tukak lambung, radang usus besar, susah buang air besar, dan gangguan pencernaan lainnya (Anonymous, 2007<sup>d</sup>).

Ikhwal peranan serat mengobati diabetes karena serat makanan memperlambat penyerapan glukosa dari usus kecil (Suyono, 2001). Ditambahkan oleh Gsianturi (2003) bahwa berbagai penelitian (sampai dengan 2002) telah menunjukkan bahwa serat dapat memperbaiki respon glukosa darah dan insulin indeks. Serat kasar (*viscous fiber*) menghambat lewatnya glukosa melalui dinding saluran pencernaan menuju pembuluh darah.

Mekanisme serat yang tinggi dapat memperbaiki kadar gula darah yaitu berhubungan dengan kecepatan penyerapan makanan (karbohidrat) masuk kedalam aliran darah yang dikenal dengan *glycaemic index* (GI). GI ini mempunyai angka dari 0 sampai 100 dimana yang cepat dirombak dan cepat diserap masuk ke aliran darah mempunyai angka GI yang tinggi sehingga dapat meningkatkan kadar gula darah. Sebaliknya makanan yang lambat dirombak dan lambat diserap masuk ke aliran darah mempunyai angka GI yang rendah sehingga dapat menurunkan kadar gula darah (Joseph, 2002). Ditambahkan oleh Suyono (2001), serat makanan diketahui memperlambat penyerapan dan pencernaan karbohidrat serta membatasi insulin yang dilepas ke pembuluh darah.

Serat makanan mengubah insulin yang beredar dalam darah agar bekerja lebih optimal, sehingga gula dalam darah larut dalam sel dan terpakai. Karena itu kebutuhan insulin berkurang. Dengan begitu tercapailah efek pengaturan tingkat gula darah kaum diabetes oleh serat makanan (Anonymous, 2006<sup>b</sup>).

Menurut Joseph (2002), peran utama serat dalam makanan adalah kemampuannya dalam mengikat air, selulosa dan pektin. Dengan adanya serat akan membantu mempercepat sisa-sisa makanan melalui saluran pencernaan untuk diekskresikan keluar. Tanpa bantuan serat, feses dengan kandungan air rendah akan lebih lama tinggal dalam saluran usus dan mengalami kesukaran melalui usus untuk dapat diekskresikan keluar karena gerakan-gerakan peristaltik usus besar menjadi lebih lamban.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, agar-agar dalam proses pencernaan mengalami proses enzimatik dengan adanya keasaman dalam lambung. Saat kondisi itulah agar-agar akan melepaskan molekul air dan memperpendek rantai polisakaridanya, sehingga menghindarkan dari kekhawatiran terjadinya penyumbatan usus, selain itu membantu pula menghindari penyakit lambung (Anonymous, 2007<sup>c</sup>).

## **2.6 Glukosa Darah dan *Diabetes Mellitus***

Konsentrasi gula darah normal pada orang berkisar antara 90 mg/dl pada saat puasa. Konsentrasi ini meningkat menjadi 120-140 mg/dl selama 1 jam pertama atau lebih setelah makan dan konsentrasi ini jarang meningkat diatas 140 mg/dl kecuali orang tersebut menderita *diabetes mellitus* (Guyton, 1983).

Setelah diabsorpsi, monosakarida dibawa melalui pembuluh balik ke hati dimana galaktosa dan fruktosa diubah secara enzimatik menjadi glukosa. Glukosa merupakan

satu-satunya monosakarida yang terdapat dalam jumlah yang banyak di darah dan cairan yaitu  $\pm$  sebesar 80 % (Guyton, 1983).

*Diabetes mellitus* (DM) adalah keadaan *hyperglukemia* (kadar gula darah tinggi) yang kronik disertai berbagai kelainan metabolik akibat gangguan hormonal (Anonymous, 2007<sup>c</sup>). Ditambahkan oleh Lanywati (2006), gangguan metabolisme tersebut disebabkan kurangnya produksi hormon insulin yang diperlukan dalam proses perubahan gula menjadi tenaga serta sintesa lemak. Kondisi yang demikian mengakibatkan terjadinya *hyperglukemia*. Adapun batasan kadar glukosa darah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Batasan kadar glukosa darah dalam mg/dl

Golongan klinik	Kadar glukosa darah		
	darah vena	darah kapiler	plasma vena
<i>Diabetes mellitus</i>	$\geq 120$	$\geq 120$	$\geq 140$
Puasa 2 jam	$\geq 180$	$\geq 200$	$\geq 200$

Sumber : Ranakusuma (1987)

Ada dua tipe *diabetes mellitus*, yang pertama adalah yang tergantung dengan insulin. Tipe ini biasanya disebabkan karena destruksi sel  $\beta$  langerhans akibat proses auto imun. Sedangkan tipe yang kedua adalah *diabetes mellitus* yang tidak tergantung pada insulin akibat dari kegagalan relatif sel  $\beta$  langerhans (Anonymous, 2007<sup>b</sup>).

Gejala klinis yang khas pada DM yaitu “triaspoli” yaitu *polidipsi* (banyak minum), *poliphagia* (banyak makan) dan *poliuria* (banyak kencing), disamping disertai dengan keluhan sering kesemutan terutama pada jari-jari tangan, badan terasa lemas, gatal-gatal dan bila ada luka sukar sembuh. Kadang-kadang BB menurun secara drastis. Untuk mengetahui apakah seorang menderita DM yaitu dengan memeriksakan kadar

gula darah. Kadar gula darah normal adalah pada saat puasa (*nuchter*) : 80 - < 110 mg/dl setelah makan : 110 - < 160 mg/dl (Anonymous, 2003<sup>b</sup>).

Menurut Guyton (1983), teori pengobatan pada *diabetes mellitus* adalah memberikan insulin dalam jumlah cukup sehingga penderita mempunyai metabolisme karbohidrat normal, diet penderita diabetes, pengaturan penderita diabetes pada demam dan gerak badan. Diketahui ada 3 jenis diet yang harus dilakukan oleh penderita *diabetes mellitus* yaitu :

- Diet rendah kalori : terutama pada penderita DM yang mempunyai kelebihan berat badan untuk mengurangi insulin yang diperlukan tubuh. Total kalori yang dianjurkan tidak boleh melebihi kecukupan kalori pada penderita DM dengan berat badan normal.
- Diet bebas gula : umumnya untuk penderita DM lansia dan tidak memerlukan suntikan insulin. Diet bebas gula dapat dilakukan dengan tidak mengonsumsi gula sama sekali atau mengurangi konsumsi makanan yang berasal dari karbohidrat.
- Diet kaya serat : sebaiknya penderita DM perlu memperbanyak konsumsi serat makanan. Serat terbukti dapat menurunkan kadar gula darah karena dapat memperbaiki pencernaan makanan, mempercepat lewatnya makanan didalam usus, serta memperlambat penyerapan gula di dalam lemak (Anonymous, 2007<sup>c</sup>).

## 2.7 Fisiologi dan Patologi *Diabetes Mellitus*

Menurut Guyton (1983), sebagian besar gambaran patologis dari diabetes mellitus dapat dihubungkan dengan salah satu efek utama akibat kurangnya insulin berikut ini :



- 1) Berkurangnya pemakaian glukosa untuk sel-sel tubuh yang mengakibatkan naiknya konsentrasi glukosa darah sampai setinggi 300-1200 mg/dl
- 2) Sangat meningkatnya mobilitas lemak dari daerah penyimpanan lemak sehingga menyebabkan terjadinya metabolisme lemak yang abnormal disertai dengan endapan kolesterol pada dinding pembuluh darah yang mengakibatkan timbulnya gejala *aterosklerosis*, dan
- 3) Berkurangnya protein dalam jaringan tubuh.

Ada beberapa fisiologi dan patologi dari *diabetes mellitus*, yaitu :

A. Hilangnya glukosa dalam urin penderita *diabetes mellitus*

Bila jumlah glukosa yang memasuki tubulus ginjal dalam filtrat glomerulus tinggi diatas kadar kritis, suatu kelebihan glukosa tidak dapat direabsorpsi dan sebaliknya akan dikeluarkan melalui urin. Hal ini secara normal dapat timbul bila konsentrasi glukosa darah meningkat diatas 180 mg/dl, suatu kadar yang disebut sebagai nilai ambang darah untuk timbulnya glukosa urin. Bila kadar glukosa darah meningkat menjadi 300 sampai 500 mg/dl (kadar yang umum dijumpai pada penderita diabetes berat yang tak diobati) maka urin setiap hari akan dilepaskan sebanyak 100 mg/dl atau lebih.

B. Efek dehidrasi akibat kenaikan kadar glukosa darah pada penderita diabetes

Pada penderita diabetes yang tidak diobati, kadar glukosa dapat meningkat sampai setinggi 1200 yakni 12 kali dari normal. Namun, satu-satunya efek yang bermakna akibat peningkatan glukosa tersebut adalah dehidrasi sel-sel jaringan. Hal ini terjadi karena glukosa tidak dapat dengan mudah berdifusi melewati pori-pori membran sel dan naiknya tekanan osmotik dalam cairan ekstra seluler yang menyebabkan timbulnya perpindahan osmotik air keluar dari sel.

### C. Asidosis dan koma pada penderita diabetes

Bergesernya metabolisme karbohidrat ke dalam metabolisme lemak menyebabkan sumber energi tubuh seluruhnya tergantung pada lemak sehingga kadar asam asetoasetat, asam keton dan asam  $\beta$  – Hidroksibutirat dalam cairan tubuh mungkin akan bertambah dari 1 mEq/l menjadi 10 mEq/l. semua tambahan ini cenderung menimbulkan *asidosis*.

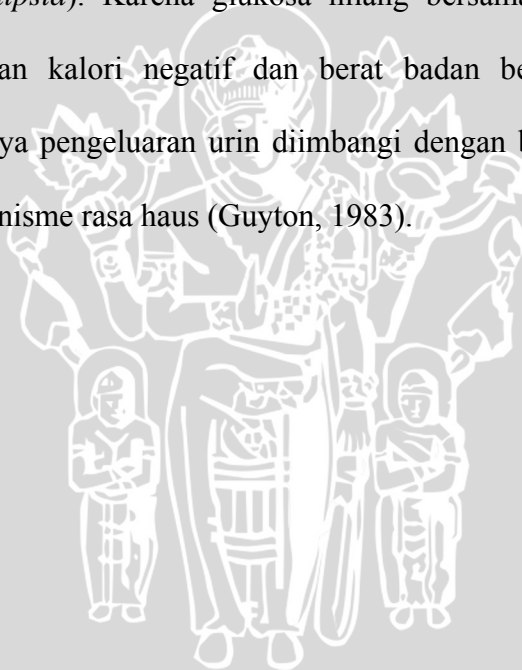
### 2.8 Glukosa Urin

Menurut Lanywati (2006), gejala klasik penyakit *diabetes mellitus* ditandai dengan istilah *trio p* yaitu meliputi:

1. *Poliuria* (banyak kencing), merupakan gejala umum pada penderita *diabetes mellitus*. Banyaknya kencing ini disebabkan kadar gula dalam darah berlebihan, sehingga merangsang tubuh untuk berusaha mengeluarkannya melalui ginjal bersama air dan kencing. Gejala banyak kencing ini terutama menonjol pada waktu malam hari, yaitu saat kadar gula dalam darah relatif tinggi.
2. *Polidipsi* (banyak minum), sebenarnya merupakan akibat (reaksi tubuh) dari banyak kencing tersebut. Untuk menghindari tubuh kekurangan cairan (dehidrasi), maka secara otomatis akan timbul rasa haus/kering yang menyebabkan timbulnya keinginan untuk terus minum selama kadar gula dalam darah belum terkontrol baik. Sehingga dengan demikian, akan terjadi banyak kencing dan banyak minum.
3. *Polipagio* (banyak makan), merupakan gejala yang tidak menonjol. Terjadinya banyak makan ini disebabkan oleh berkurangnya cadangan gula dalam tubuh

meskipun kadar gula dalam darah tinggi. Sehingga dengan demikian, tubuh berusaha untuk memperoleh tambahan cadangan gula dari makanan yang diterima.

Glukosa difiltrasi oleh *glomerulus* ginjal dan hampir semuanya diabsorpsi oleh tubulus ginjal selama kadar glukosa dalam plasma tidak melebihi 160 sampai 180 mg/100 ml. Jika kadar glukosa plasma naik melebihi kadar ini, maka glukosa tersebut akan keluar bersama kemih, dan keadaan ini disebut glukosaria. Glukosaria ini akan mengakibatkan *diuresis osmotik* yang meningkatkan pengeluaran kemih (*poliuria*) dan timbul rasa haus (*polidipsia*). Karena glukosa hilang bersama kemih, maka pasien mengalami keseimbangan kalori negatif dan berat badan berkurang. Pada pasien *diabetes mellitus* besarnya pengeluaran urin diimbangi dengan besarnya asupan cairan berhubung dengan mekanisme rasa haus (Guyton, 1983).



### 3. MATERI DAN METODE PENELITIAN

#### 3.1 Materi Penelitian

##### 3.1.1 Bahan Penelitian

##### 3.1.1.1 Bahan yang Diuji

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk larutan dan gel, bahan ransum untuk tikus percobaan dan bahan-bahan untuk analisis kimia.

Rumput laut *Gracilaria verrucosa* yang digunakan berasal dari tambak rumput laut di Probolinggo, Jawa Timur yang selanjutnya akan dimodifikasi menjadi bentuk gel dan larutan. Sedangkan obat antidiabetik *glibenklamid* yang dapat bekerja aktif menurunkan kadar glukosa dalam darah diproduksi oleh PT Indofarma, Bekasi, Indonesia. *Alloxan tetrahidrat* ( $C_4H_2N_2O_4 \cdot 4H_2O$ ) yang digunakan untuk menciptakan *hyperglukemia* eksperimental diproduksi oleh Sigma Laboratory, Singapore.

##### 3.1.1.2 Bahan untuk Ransum

Bahan yang digunakan untuk membuat ransum tikus terdiri dari :

1. *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) sebagai sumber serat diperoleh dari Laboratorium Rekayasa Pangan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
2. Minyak jagung merk *Mazola* sebagai sumber lemak diperoleh dari Laboratorium Rekayasa Pangan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
3. Vitamin mix merk *Superviton* diperoleh dari Apotek Kimia Farma, Yogyakarta.

4. Mineral mix diperoleh dari Laboratorium Rekayasa Pangan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
5. Tepung maizena sebagai sumber lemak produksi Honig Food importir : fa. Usahana, Jakarta.

Ransum perlakuan dibuat sama dengan ransum standar tetapi tanpa penambahan CMC (*Carboxy Methyl Cellulose*). Tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* ini akan dimodifikasi dalam bentuk gel dan larutan kemudian diberikan secara parenteral. Komposisi ransum standar dan ransum perlakuan tercantum pada Tabel 5. Perlakuan kontrol merupakan perlakuan tanpa rumput laut sebagai pembanding perlakuan dengan rumput laut.

Tabel 6. Komposisi ransum standar dan ransum perlakuan

Perlakuan	Jenis ransum							
	Rumput laut	Protein	Minyak jagung	Mineral mix <sup>1)</sup>	Vitamin mix <sup>2)</sup>	Air	CMC	Tepung maizena <sup>3)</sup>
0,0 % (-)	-	20	5	4	1	5	5	60
0,0 % (+)	-	20	5	4	1	5	5	60
5,0 %	5	20	5	4	1	5	-	60
7,5 %	7,5	20	5	4	1	5	-	60
10,0 %	10	20	5	4	1	5	-	60

Keterangan : 1) Lampiran 1, 2) Lampiran 2, 3) Lampiran 3

### 3.1.1.3 Bahan untuk Analisis Kimia

Bahan yang diperlukan meliputi bahan-bahan untuk analisis serat makanan (serat larut, serat tidak larut dan serat total) pada tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa*, bahan untuk analisis proksimat dan bahan untuk analisis kadar glukosa darah.

Bahan untuk analisis serat makanan antara lain :  $K_2SO_4$ ,  $HgO$ ,  $H_2SO_4$ ,  $NaOH$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $H_3BO_3$ , indikator campur,  $HCl$  4 N, pepsin, pankreatik, kertas saring dan air

destilat. Bahan analisis proksimat meliputi TCA 7 %, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, tablet Kjeldahl, aquades, indikator PP, NaOH 30 %, antifoam, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 3 %, methyle orange, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 N dan petroleum eter.

Bahan untuk analisis kadar glukosa darah adalah Gluko-Oksidase (GOD) bentuk kit diagnostik buatan Dyasys Diagnostic System GmbH & Co.Kg Germany, 4-aminoantipirin, fenol, dan enzim peroksidase (PO).

### 3.1.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi :

#### 1. Alat untuk uji (tikus percobaan)

Tikus percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tikus putih jantan (*Rattus norvegicus*) strain wistar, berjenis kelamin jantan yang berumur 2,5 – 3 bulan dengan berat 150 – 200 gram. Tikus percobaan ini diperoleh dari Laboratorium Hewan Percobaan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Beberapa sifat karakteristik tikus ini adalah : *nocturnal*, berarti aktif di malam hari dan tidur pada siang hari, sangat mudah menyesuaikan diri dengan lingkungan, tidak dapat mengeluarkan isi perutnya (muntah) dan tidak pernah berhenti tumbuh walaupun kecepatannya menurun setelah berumur 100 hari (Martha, 2004).

#### 2. Alat untuk pembuatan ransum tikus percobaan

Alat untuk pembuatan pakan antara lain timbangan analitik, blender, baskom, plastik, cetakan pelet, loyang dan oven.

#### 3. Alat untuk pembuatan larutan dan gel

Alat yang digunakan untuk membuat larutan dan gel rumput laut antara lain timbangan analitik, *beaker* gelas, sendok/spatula, pemanas/kompur, cup plastik.

Sedangkan alat untuk memberikan larutan dan gel pada tikus adalah *homogenizer*, jarum sonde, dan spet.

#### 4. Alat untuk pemeliharaan tikus percobaan

Alat yang digunakan untuk pemeliharaan tikus terdiri dari kandang tikus yang terbuat dari plastik tebal transparan yang dilengkapi dengan tutup beserta perlengkapannya seperti tempat ransum dan botol minum.

#### 5. Alat penginjeksian *alloxan*

Alat-alat yang digunakan selama injeksi adalah timbangan elektronik merk *Chiimadzi* dengan tipe AEL-200 no 604 dengan kapasitas 200 gram untuk menimbang *alloxan* dan *syringe* 1 ml untuk injeksi *alloxan* ke tikus putih.

#### 6. Alat pembedahan dan pengambilan darah

Alat pembedahan dan pengambilan darah tikus terdiri dari kapas, gunting, pisau bedah, pinset, papan pembedahan, spuit 5 ml, *appendorf*, *haemotocrit*.

#### 7. Alat pengukuran kadar glukosa darah dan glukosa urin

Alat yang digunakan analisis kadar glukosa terdiri dari *sentrifuge*, pipet tetes, *vortex*, tabung reaksi, rak tabung reaksi, pipet *appendorf* (mikro pipet), mikro kuvet, dan *spektrofotometer* sedangkan alat yang digunakan untuk pengukuran kadar glukosa urin tikus terdiri dari kertas tisu, kaca, *syringe*, kertas label, dan *appendorf*.

#### 8. Alat analisis serat makanan

Alat untuk menganalisis serat makanan pada rumput laut *Gracilaria verrucosa*, ransum standart dan ransum perlakuan adalah neraca analitik, erlenmeyer 250 ml, penangas air, pH meter dan *crucible* (*Poresity*) yang mengandung 0,5 gram celite kering.

## 9. Alat analisis proksimat

Analisis proksimat pada rumput laut *Gracilaria verrucosa* terdiri dari kertas saring, erlenmeyer, gelas piala, gelas ukur, buret, mortar, rangkaian alat destruksi, pipet, rangkaian alat destilasi, pipet volume 5 ml, pipet volume 25 ml, statif, bola hisap, spatula, labu destruksi, labu destilasi, peralatan untuk ekstraksi lemak (*soxhlet*), neraca analitik, erlenmeyer 250 ml, penangas air, pH meter, aluminium foil, pipet serologis, pipet volume, mortar, blender, *shaker*, kertas saring, termometer, oven, desikator, dan *cruicible* (*poersity*) yang mengandung 0,5 gram celite kering.

### 3.2 Metode Penelitian

#### 3.2.1 Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Pada penelitian ini dilakukan pengujian tentang pengaruh pemberian larutan dan gel rumput laut *Gracilaria verrucosa* dengan konsentrasi berbeda secara parenteral terhadap kadar glukosa darah tikus *hyperglukemia*. Faktor perlakuan pada penelitian ini terdiri dari faktor bentuk pemberian rumput laut (A) yang terdiri dari bentuk larutan (A1) dan bentuk gel (A2), sedangkan faktor konsentrasi pemberian larutan dan gel rumput laut dari *Gracilaria verrucosa* (B) yang terdiri dari perlakuan kontrol (+) 0,0 % (B1), kontrol (-) 0,0 % (B2), konsentrasi 5,0 % (B3), konsentrasi 7,5,0 % (B4), dan konsentrasi 10,0 % (B5). Adapun pengamatan pada hari ke 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 digunakan sebagai kelompok pengamatan. Denah rancangan faktor perlakuan dapat dilihat pada Tabel 7.



Tabel 7. Denah rancangan faktor perlakuan

Bentuk	Konsentrasi	Ulangan	Hari ke-						
			0	3	6	9	12	15	18
Kontrol	0,0 % (+)	1							
		2							
		3							
	0,0 % (-)	1							
		2							
		3							
Gel	5,0 %	1							
		2							
		3							
	7,5 %	1							
		2							
		3							
	10,0 %	1							
		2							
		3							
Larutan	5,0 %	1							
		2							
		3							
	7,5 %	1							
		2							
		3							
	10,0 %	1							
		2							
		3							

Berdasarkan perlakuan yang dilakukan maka penelitian ini dapat dirancang dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial. Menurut Yitnosumanto (1993), model untuk rancangan acak kelompok faktorial adalah :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + pk + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dimana :

$Y_{ijk}$  = Nilai pengamatan pada perlakuan ke-i ulangan ke-j

$\mu$  = Nilai tengah umum

$A_i$  = Pengaruh taraf ke-i dari faktor A (bentuk gel dan larutan)

$B_j$  = Pengaruh taraf ke-j dari faktor B (konsentrasi 5,0 %, 7,5 % dan 10,0 %)

$p_k$  = Pengaruh kelompok ke-k (hari pengamatan)

$(AB)_{ij}$  = Pengaruh interaksi taraf ke-i dari faktor A dan taraf ke-j dari faktor B

$e_{ijk}$  = Galat percobaan taraf ke-i dari faktor A dan taraf ke-j dari faktor B  
pada ulangan yang ke-k

Pemberian ransum standar dan ransum perlakuan dilakukan secara oral, yaitu dengan membebaskan tikus mengkonsumsi ransum sebanyak-banyaknya. Sedangkan perlakuan penambahan rumput laut dengan bentuk dan konsentrasi berbeda dilakukan secara parenteral, yaitu dengan menginjeksikan rumput laut sebanyak 4 ml.

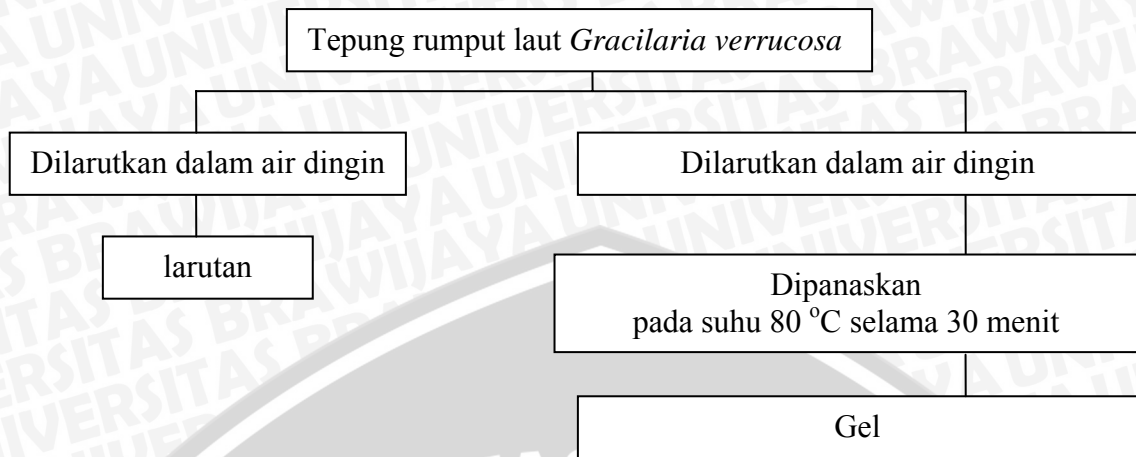
### 3.2.2 Parameter Uji Penelitian

Parameter uji yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi analisis proksimat tepung agar, ransum standar (kadar air, protein, lemak, abu, karbohidrat), kadar serat makanan tepung agar, kadar glukosa darah tikus, kadar glukosa urin, jumlah ransum yang dikonsumsi, dan berat badan tikus.

## 3.3 Prosedur Penelitian

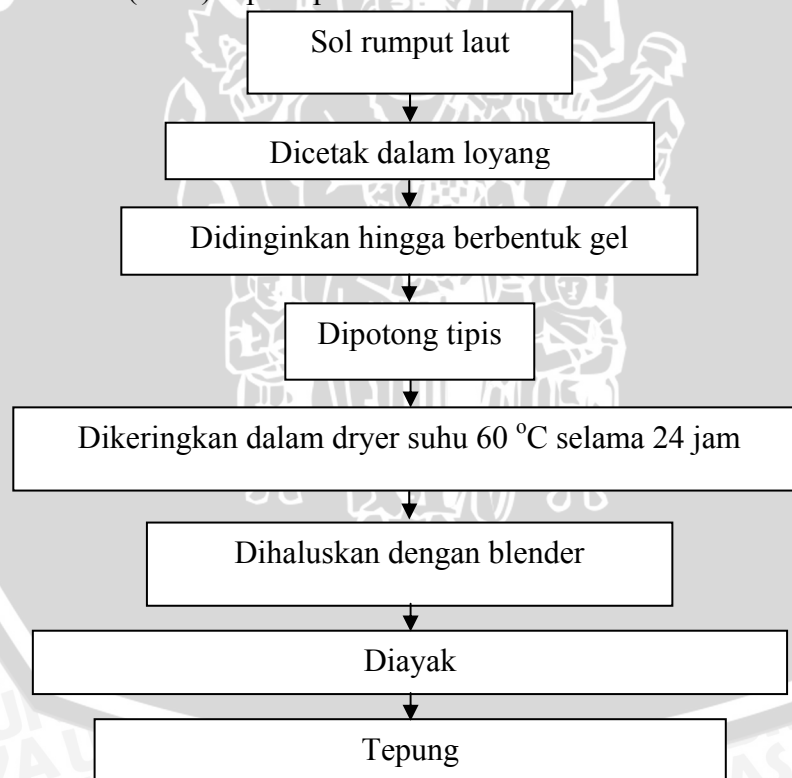
### 3.3.1 Preparasi Bahan Uji

Sebelum dilakukan penelitian, langkah pertama dalam penelitian ini adalah preparasi bahan uji yaitu dengan memodifikasi rumput laut *Gracilaria verrucosa* menjadi bentuk gel dan larutan. Menurut Anggadiredja, *et al.*, (2006), cara memodifikasi tepung rumput laut menjadi bentuk larutan dan gel disajikan pada Gambar 1:



Gambar 2. Cara memodifikasi rumput laut dari *Gracilaria verrucosa* menjadi bentuk gel dan larutan

Salah satu metode pembuatan tepung agar dari *Gracilaria verrucosa* menurut Angka dan Suhartono (2000) seperti pada Gambar 3 :



Gambar 3. Proses pembuatan tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa*

Jumlah larutan dan gel tepung agar yang akan diberikan pada tikus didasarkan pada penelitian Handayani (2005) bahwa larutan dan gel yang diberikan pada tikus

percobaan dilakukan sebanyak 2 kali sehari, dimana satu kali pemberian sebanyak 4 ml, hal ini dikarenakan kapasitas lambung tikus adalah 5 ml. Pemberian larutan dan gel yang pertama pada pukul 08.00 WIB (sebelum tikus makan), dan pemberian larutan dan gel yang kedua pada pukul 13.00 WIB. Adapun jumlah larutan dan gel yang diberikan kepada setiap ekor tikus dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Jumlah larutan dan gel yang diberikan kepada 1 ekor tikus untuk 1 kali pemberian

Bahan	Larutan			Gel		
	5,0 %	7,5 %	10,0 %	5,0 %	7,5 %	10,0 %
Tepung rumput laut <i>Gracilaria verrucosa</i>	0,07 g	0,10 g	0,13 g	0,07 g	0,10 g	0,13 g
Air	4 ml	4 ml	4 ml	4 ml	4 ml	4 ml

### 3.3.2 Pembuatan Ransum pada Tikus Percobaan

Pada penelitian ini terdapat dua jenis ransum tikus percobaan yaitu ransum standar dan ransum perlakuan. Ransum standar dibuat dengan mengikuti komposisi ransum Standar *National Research Council* (NRC), sedangkan untuk ransum perlakuan dibuat sama dengan ransum standar tetapi seratnya (CMC) diganti rumput laut dari *Gracilaria verrucosa* yang dimodifikasi menjadi bentuk gel dan larutan dengan konsentrasi 5,0 %, 7,5 %, 10,0 %. Untuk konsentrasi 0,0 % tetap menggunakan CMC makanan (*food grade*) sebagai sumber serat.

Cara pembuatan ransum standar yaitu semua bahan dicampur dalam suatu wadah dan diaduk dengan tangan sampai tercampur rata kemudian dicetak dalam bentuk pelet kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama 12 jam dan setelah kering dimasukkan plastik (Martha, 2004).

### 3.3.3 Pembuatan Tikus *Hyperglukemia*

Pengkondisian tikus *hyperglukemia* berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Martha (2004), yaitu mula-mula tikus putih jantan diadaptasikan selama 7 hari dengan lingkungan pemeliharaan dengan cara menempatkan setiap tikus dalam kandang lalu diberi ransum standar dan minum secara *ad libitum*. Kemudian tikus ditimbang dan diukur kadar glukosa darahnya untuk mengetahui kadar glukosa darah awal. Setelah masa adaptasi, maka kadar glukosa darah tikus dinaikkan melalui injeksi *alloxan* dengan dosis 125 mg/kg bobot badan sampai kadar glukosanya mencapai dua kali lipat dari kadar normalnya, kira-kira 3 hari. Hal ini berdasarkan pada penelitian terdahulu (Martha, 2004) dimana pada hari ke-3 setelah injeksi *alloxan* tikus sudah dalam kondisi *hyperglukemia*.

*Alloxan* merupakan salah satu senyawa yang dapat merusak sel  $\beta$  pankreas dan dapat menyebabkan diabetes. Adapun cara penggunaan *alloxan* tetrahidrat adalah sebagai berikut :

1. Berat badan tikus ditimbang untuk menentukan volume *alloxan* yang diinjeksikan.
2. Penentuan larutan stok *alloxan*. Berdasarkan penelitian Savitri (2000), digunakan *alloxan* dosis 125 mg/kg berat badan tiap tikus putih.

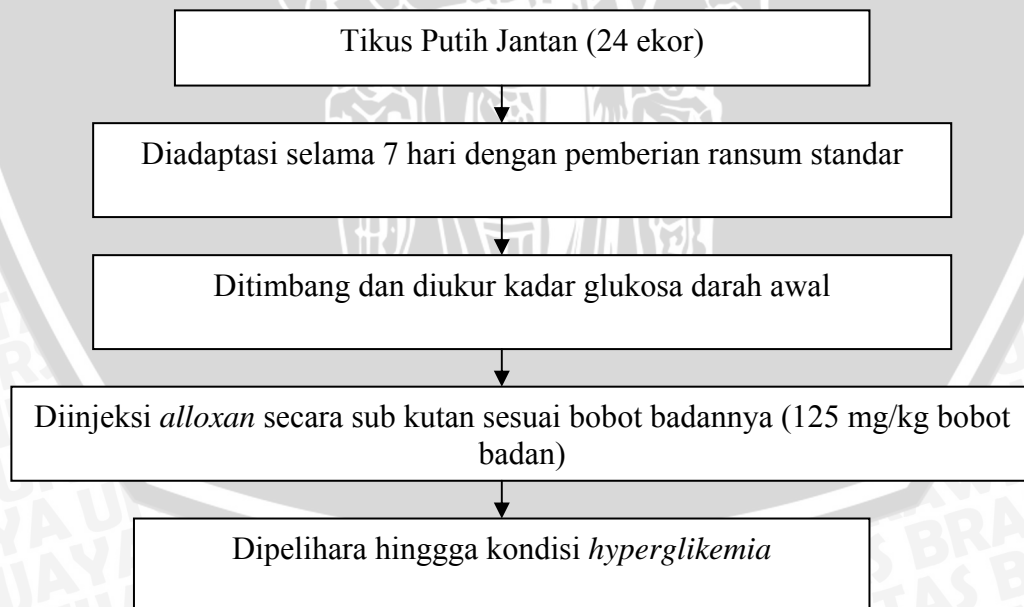
$$\text{Berat } alloxan = \frac{204}{1000} \times 125 \text{ mg / kg} = 25,5 \text{ mg / kg}$$

Keterangan : Berat tikus  $\pm$  204 mg

3. *Alloxan* tetrahidrat 25,5 mg dilarutkan ke dalam aquades untuk membuat larutan stok.

4. Penentuan volume injeksi *alloxan*. Volume *alloxan* yang diinjeksikan untuk tikus 204 gram adalah 0,5 ml larutan stok. Tikus putih dengan berat A gram dibutuhkan volume *alloxan* sebesar 
$$= \frac{A \text{ (g)} \times 0,5 \text{ (ml)}}{204 \text{ (g)}} = Y \text{ (ml) larutan stok}$$
5. *Alloxan* Y ml diinjeksikan di bagian subkutan menggunakan *syringe* pada awal penelitian pada semua kelompok perlakuan.
6. 48 jam setelah penyuntikan *alloxan*, sampel darah diambil untuk diukur kadar glukosa darah (metode enzimatis GOD-PAP) sebagai data awal. 12-18 jam sebelum pengambilan sampel darah, tikus putih dipuasakan dahulu (tetap diberi minum secara *ad libitum*).

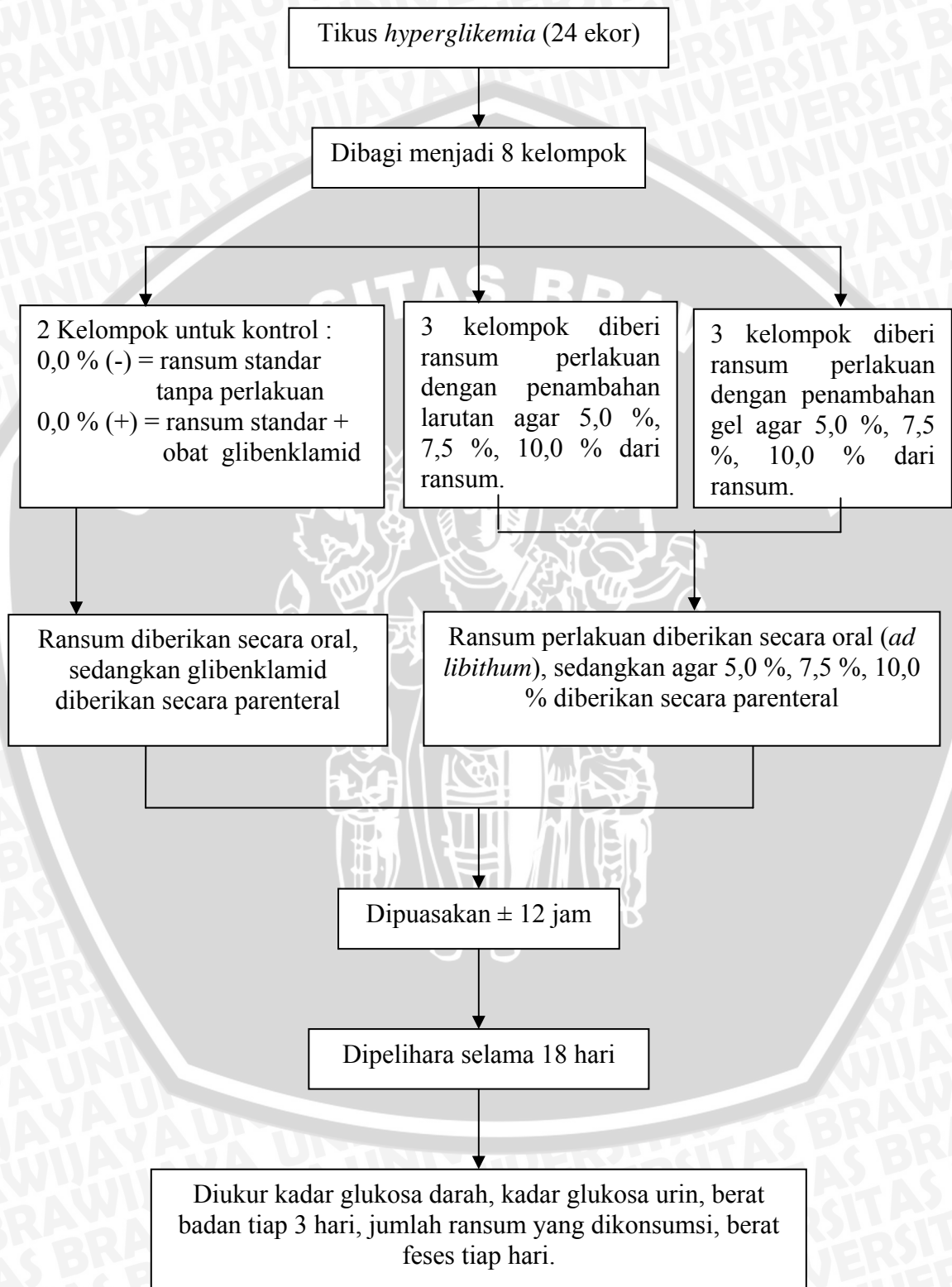
Pada saat glukosa dalam darah tikus sudah mencapai *hyperglukemia* (kadar glukosa darah  $\geq 180$  mg/dl) kemudian diberi ransum sesuai dengan perlakuannya. Pengkondisian tikus *hyperglukemia* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengkondisian tikus *hyperglukemia*

### 3.3.4 Pelaksanaan Percobaan

Pelaksanaan percobaan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pelaksanaan percobaan

Setelah tikus mengalami kondisi *hyperglukemia*, diambil secara acak dan dibagi menjadi 3 kelompok sebagai berikut :

- Kelompok 1 merupakan kelompok kontrol (-) yaitu tikus yang hanya diberi ransum standar dan kelompok kontrol (+) yaitu tikus yang diberi ransum standar dan obat antidiabetik *glibenklamid*. Dosis glibenklamid yang diberikan adalah 0,378 mg/200 gram berat badan tikus (Lampiran 9)
- Kelompok 2 merupakan kelompok tikus yang diberi ransum perlakuan tanpa CMC secara oral dan larutan agar dengan konsentrasi 5,0 %, 7,5 %, 10,0 % secara parenteral.
- Kelompok 3 merupakan kelompok tikus yang diberi ransum perlakuan tanpa CMC secara oral dan gel agar dengan konsentrasi 5,0 %, 7,5 %, 10,0 % secara parenteral.

Kemudian tikus dipelihara selama 18 hari dan dilakukan pengamatan tiap 3 hari sekali yang meliputi pengamatan kadar glukosa darah, kadar glukosa urin, dan penimbangan berat badan. Selama periode ini jumlah ransum yang dikonsumsi dan jumlah feses ditimbang setiap hari.

Menurut Martha (2004), pengukuran kadar glukosa darah tikus dilakukan dengan metode GOD-PAP. Sebelum diambil darahnya tikus dipuasakan dahulu  $\pm$  12 jam. Tujuan dari perlakuan ini adalah agar darah yang dianalisis benar-benar darah murni. Pengambilan serum darah melalui *sinus orbitalis* sebanyak 1 ml dengan menggunakan *mikrohaemotokrit* dan dimasukkan pada tabung *appendorf* kemudian didiamkan 30 menit pada suhu ruangan (hingga menjedal) dan disentrifuse 15 menit pada kecepatan 3000 rpm (hingga terbentuk 2 lapisan). Lapisan atas yang berwarna jernih kekuningan



adalah serum yang kemudian diambil dengan pipet dan dimasukkan ke dalam *appendorf* lalu diukur kadar glukosa darahnya.

Pada hari ke 9 dan 18 dilakukan pembedahan pada tikus untuk melihat kondisi pankreasnya yang merupakan penghasil insulin. Pembuatan preparat sel  $\beta$  pankreas ada 4 jenis yaitu :

1. Preparat sel  $\beta$  pankreas tikus normal.
2. Preparat sel  $\beta$  pankreas tikus yang rusak karena mengalami *hyperglikemia* setelah diinjeksi *alloxan*.
3. Preparat sel  $\beta$  pankreas tikus yang rusak karena mengalami *hyperglikemia* setelah diinjeksi *alloxan* dan diberikan perlakuan selama 9 hari.
4. Preparat sel  $\beta$  pankreas tikus yang rusak karena mengalami *hyperglikemia* setelah injeksi *alloxan* dan diberikan perlakuan selama 18 hari.

### 3.4 Parameter Uji Percobaan

Parameter uji yang dilakukan pada penelitian ini meliputi analisis proksimat rumput laut dari *Gracilaria verrucosa* dan ransum, analisis kadar glukosa darah, pengukuran berat tikus, jumlah ransum yang dikonsumsi, kadar glukosa urin, dan berat feses dari tikus percobaan.

#### 3.4.1. Kadar Air (Sudarmadji, *et al.*, 1997)

Metode yang digunakan untuk penentuan kadar air adalah metode *thermogravimetri*. Prinsip metode ini adalah sampel dipanaskan pada suhu (100-105) °C sampai diperoleh berat yang konstan. Pada suhu ini semua air bebas (yang tidak terikat

pada zat lain) dapat dengan mudah diuapkan, tetapi tidak demikian halnya dengan air terikat.

### 3.4.2 Kadar Protein (Sudarmadji, *et al.*, 1997)

Metode yang digunakan untuk penentuan kadar protein adalah metode makro *kjeldahl*. Prinsip dari metode ini adalah penentuan protein berdasarkan oksidasi bahan-bahan berkarbon dan konversi nitrogen menjadi amonia. Selanjutnya amonia bereaksi dengan kelebihan asam membentuk amonium sulfat. Larutan dibuat menjadi basa, dan amonia diuapkan untuk kemudian diserap dalam larutan asam borat. Nitrogen yang terkandung dalam larutan dapat ditentukan jumlahnya dengan titrasi menggunakan HCl 0,02 N (Apriyantono, *et al.*, 1989).

### 3.4.3 Kadar Lemak (Sudarmadji, *et al.*, 1997)

Metode yang digunakan dalam penentuan kadar lemak adalah metode *soxhlet*. Prinsip dari metode yang ini adalah ekstraksi atau pemisahan lemak dari contoh dengan cara mensirkulasikan pelarut lemak (*ethyl eter*) kedalam contoh (Murachman, *et al.*, 1980).

### 3.4.4 Kadar Abu (Sudarmadji, *et al.*, 1997)

Metode yang digunakan untuk penentuan kadar abu adalah metode pemanasan (pengeringan secara langsung). Prinsip dari metode ini adalah sampel dipanaskan pada suhu 650 °C, maka akan terjadi abu yang berwarna putih (Murachman *et al.*, 1983).

### 3.4.5 Kadar Karbohidrat

Ada beberapa cara analisis yang dapat digunakan untuk memperkirakan kandungan karbohidrat dalam bahan makanan. Yang paling mudah adalah dengan cara perhitungan kasar (*proximate analysis*) atau juga disebut *Carbohydrate by Difference*. *Proximate analysis* adalah suatu analisis dimana kandungan karbohidrat termasuk serat kasar diketahui bukan melalui analisis tetapi melalui perhitungan sebagai berikut :

$$\% \text{ karbohidrat} = 100\% - \%(\text{protein} + \text{lemak} + \text{abu} + \text{air})$$

Perhitungan *Carbohydrate by Difference* adalah penentuan karbohidrat dalam bahan makanan secara kasar, dan hasilnya biasanya dicantumkan dalam daftar komposisi bahan makanan (Winarno, 2002).

### 3.4.6 Kadar Serat Makanan (Sulaeman, *et al.*, 1993)

Sampel dihomogenkan menggunakan gilingan dan disaring dengan ukuran 0,3 mm. Dilakukan ekstraksi lemak menggunakan petroleum eter pada suhu kamar selama 15 menit (40 ml petroleum eter per gram sampel). 1 gram sampel ditimbang dan dimasukkan dalam erlenmeyer lalu ditambahkan 25 ml 0,1 M buffer natrium sulfat pH 6 dan diaduk. Buffer ditambahkan ditujukan untuk menstabilkan enzim termamyl. Ditambahkan 0,1 ml enzim termamyl. Erlenmeyer ditutup dengan aluminium foil dan diinkubasi dalam penangas air dengan suhu 100 °C selama 15 menit sambil diaduk sesekali dengan tujuan untuk menghidrolisa pati dengan menggelatinisasikan terlebih dahulu. Sampel diangkat dan setelah dingin ditambahkan 20 ml air destilata kemudian pH dijadikan 1,5 menggunakan HCl 4 N agar aktivitas enzim pepsin menjadi maksimum. Ditambahkan 100 mg pepsin, erlenmeyer ditutup dan diinkubasi dalam

penangas air bergoyang pada suhu 42 °C selama 60 menit. Ditambahkan 20 ml air destilat dan atur pH menjadi 6,8 dengan menggunakan NaOH untuk mendapatkan aktivitas maksimum dari pankreatin. Ditambahkan 100 mg pankreatin, erlenmeyer ditutup dan diinkubasi dalam penangas air bergoyang pada suhu 40 °C selama 60 menit. Diatur pH menjadi 4,5 menggunakan HCl. Disaring menggunakan *crucible* kering (porositas 2) yang telah diketahui beratnya mengandung 0,5 gram celite kering. Terakhir, sampel dicuci dengan 2x10 ml air destilat.

#### 1. *Insoluble Dietary Fiber* (IDF) (residu)

Untuk mengetahui kadar serat tak larut air, sampel yang telah disaring menggunakan *crucible* kering dicuci dengan 2 x 10 ml etanol 95 % dan 2 x 10 ml aseton. Dikeringkan pada suhu 105 °C sampai mencapai berat konstan (semalam). Timbang setelah didinginkan dalam desikator (D<sub>1</sub>). Pengabuan pada suhu 550 °C minimal selama 5 jam. Ditimbang setelah didinginkan dalam desikator.

#### 2. *Soluble Dietary Fiber* (SDF) (filtrat)

Untuk mengetahui kadar serat larut air, sampel yang telah disaring menggunakan *crucible* kering diatur volume filtratnya menjadi 100 ml dengan air destilat kemudian ditambahkan 400 ml etanol 95 % (60 °C). Biarkan mengendap selama 1 jam. Disaring menggunakan *crucible* (porositas 2) yang telah diketahui beratnya dengan mengandung 0,5 gram *celite*, dicuci dengan 2 x 10 ml etanol 78 %; 2 x 10 ml etanol 95 %; 2 x 10 ml aseton. Dikeringkan pada suhu 105 °C selama semalam. Timbang setelah dikeringkan dalam desikator (D<sub>2</sub>). Pengabuan dalam tanur dilakukan pada suhu 550 °C selama 5 jam. Timbang sampel setelah didinginkan didalam desikator (I<sub>2</sub>).

Blanko untuk serat yang larut dan tidak larut diperoleh dengan cara seperti prosedur untuk sampel tetapi tanpa sampel (B1 dan B2). Nilai blanko sewaktu-waktu harus dicek bila menggunakan enzim dari *batch* yang berbeda.

Serat makanan dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\%IDF = \frac{D1 - L1 - B1}{W} \times 100\%$$

$$\%SDF = \frac{D2 - L2 - B2}{W} \times 100\%$$

$$\%TDF = \%SDF + \%IDF$$

Keterangan :

W = berat sampel (gram)

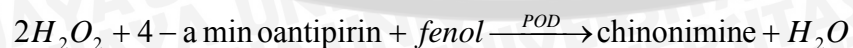
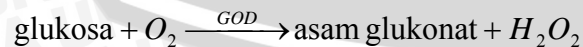
I = berat setelah pengabuan (gram)

D = berat setelah pengeringan (gram)

B = berat blanko bebas abu (gram)

### 3.4.7 Kadar Glukosa Darah (Anonymous, 2003)

Metode yang digunakan adalah GOD-PAP dimana prinsipnya adalah oksidasi glukosa oleh Gluko-Oxidase (GOD) menjadi asam glukonat dan  $H_2O_2$ . selanjutnya  $H_2O_2$  direaksikan dengan 4-aminoantipirin dan fenol yang menghasilkan chinonimine yang berwarna kemerahan dan  $H_2O$ . Reaksi ini dikatalis oleh enzim peroksidase (POD). Chinimine yang terbentuk ekuivalen dengan glukosa sehingga warna yang terukur dari chinomine akan sebanding dengan kadar glukosanya.



Sampel yang digunakan berupa serum/plasma yang diperoleh dengan antikoagulan heparin/EDTA (*Ethylene Diamine Tetra Acetic*). Sampel darah tidak boleh berada pada kondisi lisis, sebab akan mengganggu warna yang terbentuk serta harus segera diberi inhibitor glikolisis dengan NaF atau KF agar sel darah merah yang masih hidup tidak melakukan glikolisis sehingga mengurangi kadar glukosa darah. Sampel kemudian disimpan pada suhu 4 °C agar stabil sampai 7 hari.

Reagen pereaksi yang digunakan terdiri dari buffer fosfat 250 mmol/l, pH 7,5 glukose oksidase >10 KU/l, fenol 5 mmol/l, peroksidase >10 KU/l dan 4 aminoantipirin 0,5 mmol/l. Standar yang digunakan adalah 100 mg/ dl (= 5,55 mmol/l). Larutan sampel/standart dibuat dengan mencampurkan 10 µl reagen pereaksi. Sedangkan untuk larutan blanko hanya terdiri dari 1000 µl pereaksi. Larutan-larutan ini kemudian didiamkan pada suhu kamar (26 °C) selama 20 menit atau selama 10 menit pada suhu 37 °C. Absorbansi dibaca dengan kolorimeter pada λ 500 nm atau Hg 546 nm. Sebagai titik nol digunakan larutan blanko. Kadar glukosa dalam darah dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kadar glukosa} = \frac{A_s}{A_{st}} \times (\text{kadar standar})$$

#### 3.4.8 Kadar Glukosa Urin (Ganong, 1981)

Glukosa urin diukur dengan menggunakan *uriscan*. Caranya adalah dengan memasukkan 1 ml urin dari tikus percobaan ke dalam *appendorf*, kemudian dimasukkan uriscan ke dalam urin selama satu menit atau sampai terjadi perubahan warna dan kemudian diangkat dan dikeringkan. Warna akhir yang ditunjukkan pada uriscan akan menunjukkan nilai atau kondisi dari glukosa urin tikus percobaan.

### 3.4.9 Jumlah Ransum yang Dikonsumsi dan Berat Badan Tikus

Ransum diberikan pada tikus secara *ad libitum* dapat diketahui jumlah yang dikonsumsi dengan menghitung selisih ransum yang diberikan dan sisa ransum yang tidak dimakan oleh tikus. Untuk berat badan tikus dapat diketahui dengan menimbang tikus menggunakan timbangan analitik tiap 3 hari sekali.

### 3.4.10 Berat Feses

Penghitungan berat feses tikus percobaan dilakukan untuk mengetahui peranan serat terhadap jumlah feses yang dikeluarkan oleh tikus. Berat feses dihitung dengan menimbang feses yang dikeluarkan tikus menggunakan timbangan analitik. Feses tikus ditimbang tiap hari selama tikus diberi ransum perlakuan

### 3.5 Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan ANNOVA (*Analysis of Variance*) dan dianalisis lebih lanjut dengan uji Tukey (SPSS versi 11.5) yang bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang terjadi diantara faktor perlakuan yang digunakan beserta interaksinya.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Komposisi Gizi Tepung Rumput Laut dan Ransum

#### 4.1.1 Hasil Analisis Proksimat

Agar-agar adalah senyawa *macromolecule* polisakarida yang terkandung dalam beberapa jenis rumput laut khususnya yang tergolong pada *red algae*. Senyawa agar-agar, yang juga tergolong senyawa *hydrocolloid*, mempunyai sifat-sifat umum larut dalam air panas dan membentuk jeli kenyal bila diinginkan. Sifat tersebut dimungkinkan karena secara garis besar senyawa agar-agar merupakan rantai panjang polisakarida dan memiliki struktur molekul kombinasi berulang (*repeating unit*) secara bergantian dari dua unsur yaitu *agarose* bersifat netral yang kuat daya gelasnya (*gel strength*) dan *agaropectine*, bersifat asam yang lemah daya gelasnya (Anonymous, 2007).

Pada rumput laut *Gracilaria verrucosa*, dilakukan analisis proksimat dalam bentuk tepung. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kandungan gizi yang terkandung pada tepung rumput laut. Hasil analisis proksimat tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil analisis proksimat tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa*

Lemak (%)	Protein (%)	Air (%)	Abu (%)	Karbohidrat <i>by difference</i> (%)
0,16	13,74	10,47	7,32	68.31

Sedangkan pada ransum standar dan ransum perlakuan juga dilakukan analisis proksimat secara duplo dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 10. Pengulangan (duplo) dilakukan agar hasil yang didapat lebih valid.



Tabel 10. Hasil analisis proksimat ransum tikus

Parameter uji	Ransum standar	Ransum perlakuan
Lemak (%)	4,99±0,81	9,85±0,60
Protein (%)	21,01±0,86	17,13±0,05
Air (%)	9,20±0,33	5,05±0,01
Abu (%)	5,05±0,81	4,39±0,02
Karbohidrat <i>by difference</i> (%)	59,75±0,42	63,57±0,05

#### 4.1.2 Hasil Analisis Serat Makanan Tepung Rumput Laut *Gracilaria verrucosa*

Menurut Linder (1992), Serat adalah bagian dari makanan yang tidak dapat tercerna secara enzimatik (enzim yang diproduksi oleh manusia) sehingga bukan sebagai sumber zat makanan. Serat adalah zat non gizi, ada dua jenis serat yaitu serat makanan (*dietary fiber*) dan serat kasar (*crude fiber*). Serat makanan adalah serat yang tetap ada di kolon atau usus besar setelah proses pencernaan, baik yang berbentuk serat yang larut air maupun yang tidak larut dalam air. Sedangkan serat kasar adalah serat tumbuhan yang tidak larut dalam air (Anonymous, 2006<sup>a</sup>).

Untuk mengetahui kandungan serat makanan alami yang terkandung dalam tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* perlu dilakukan analisis serat makanan. Hasil analisis serat makanan dari tepung *Gracilaria verrucosa* dan ransum perlakuan ditunjukkan dalam Tabel 11.

Tabel 11. Hasil analisis serat makanan Tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa*

Jenis serat	Kadar serat (%)
IDF	22,66±0,45
SDF	46,89±0,64
TDF	69,55±0,19

Keterangan :

IDF : *Insoluble Dietary Fiber* / serat makanan tak larut

SDF : *Soluble Dietary Fiber* / serat makanan larut

TDF : *Total Dietary Fiber* / total serat makanan

Dari hasil analisis serat makanan terlihat bahwa kandungan serat makanan total dalam tepung rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* mencapai 69,55 % yang terdiri dari serat makanan tak larut sebanyak 22,66 %, dan serat makanan larut air sebanyak 46,89 %. Jika dibandingkan dengan serat makanan yang terdapat dalam buah-buahan dan sayuran, maka serat makanan yang terdapat dalam tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* tergolong lebih tinggi.

Serat kasar merupakan residu dari bahan makanan atau pertanian setelah dilakukan diperlakukan dengan asam atau alkali mendidih, dan terdiri dari selulosa, dengan sedikit lignin dan pentosan (Anonymous, 2006<sup>d</sup>).

Kisaran kadar serat makanan yang terdapat dalam produk serealita adalah 2-39,4 % (Dreher, 1987), sedangkan kisaran serat makanan yang terdapat dalam buah-buahan adalah 0,3-17 % dan sayur-sayuran 0,82-6,10 % (Martha, 2004).

#### **4.2. Pengkondisian Tikus *Hyperglukemia***

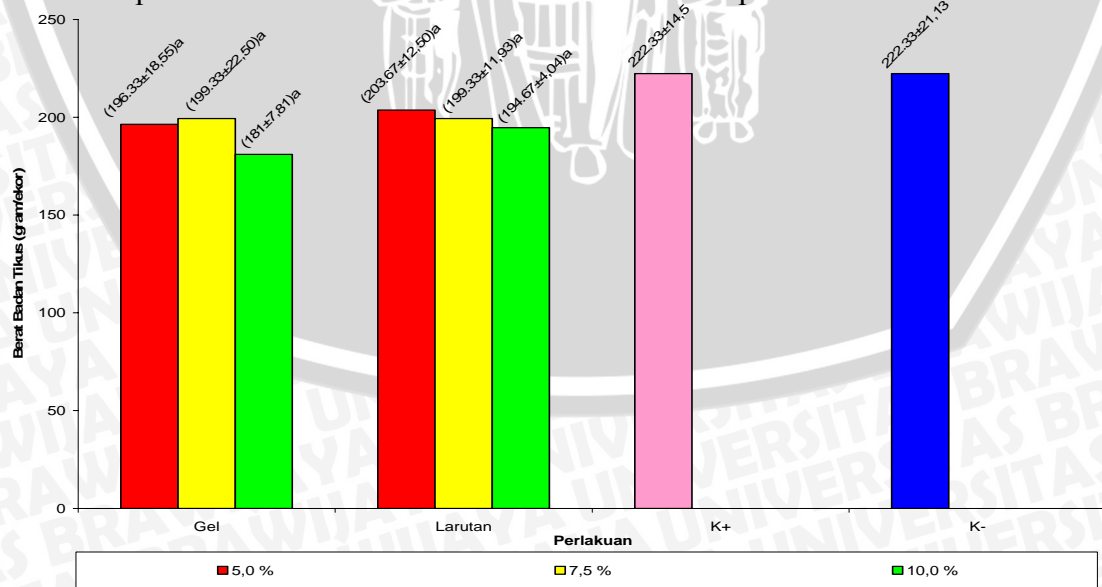
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Martha (2004), mula-mula tikus putih jantan diadaptasikan selama 7 hari dengan lingkungan pemeliharaan. Adaptasi dilakukan dengan menempatkan setiap tikus dalam kandangnya dan diberi ransum standar dan minum secara *ad libitum*. Kemudian tikus ditimbang dan diukur kadar glukosa darahnya untuk mengetahui kadar glukosa awal. Setelah masa adaptasi, kadar glukosa darah tikus dinaikkan melalui injeksi *alloxan*. Dosis *alloxan* yang digunakan adalah 125 mg/kg berat badan. Injeksi *alloxan* dilakukan sampai kadar glukosanya mencapai dua kali lipat dari kadar normalnya. Hal ini berdasarkan pada penelitian sebelumnya dimana pada hari ke-3 setelah injeksi *alloxan* tikus sudah dalam kondisi *hyperglukemia*.

Peningkatan kadar glukosa darah telah terlihat pada hari ke 3 yang mencapai kisaran 193.57 - 209.64 mg/dl yang menunjukkan tikus telah berada dalam kondisi *hyperglukemia*. Menurut Ganong (1993), keadaan *hyperglukemia* adalah keadaan dimana kadar glukosa darah manusia puasa mencapai lebih dari 140 mg/dl atau kadar glukosa darah setelah makan >180 mg/dl, sedangkan kadar glukosa darah normal manusia puasa adalah <110 mg/dl dan glukosa darah normal manusia sesudah makan adalah  $\pm$  140 mg/dl.

**4.3. Pengaruh Penambahan Rumput Laut *Gracilaria verrucosa* Bentuk Larutan dan Gel Terhadap Berat Badan, Konsumsi Pakan, Berat Feses, Kadar Glukosa Darah dan Glukosa Urin Tikus Wistar *Hyperglukemia***

**4.3.1 Berat Badan**

Cara menimbang tikus adalah mula-mula tikus dipegang pada bagian dada, telunjuk dan ibu jari diletakkan dibawah rahang dengan sedikit penekanan lalu diletakkan diatas timbangan. Pengukuran berat badan tikus dilakukan untuk mengetahui berat badan tikus setelah diberi ransum perlakuan secara *ad libitum*. Berat badan tikus diukur setiap 3 hari selama 18 hari dan dilakukan sebelum pemberian ransum.



Gambar 6. Histogram berat badan tikus hari ke-0.

Dari histogram diatas terlihat bahwa berat badan tikus yang digunakan dalam penelitian ini telah homogen. Homogenitas berat badan tikus dimaksudkan agar analisis kadar glukosa darah yang menjadi inti dari penelitian ini tidak terpengaruh oleh perbedaan berat badan tikus yang digunakan. Dari hasil analisis Anova terhadap berat badan tikus pada hari ke-0 terlihat bahwa berat badan tikus yang digunakan pada penelitian ini tidak berbeda nyata ( $p > 0,5$ )

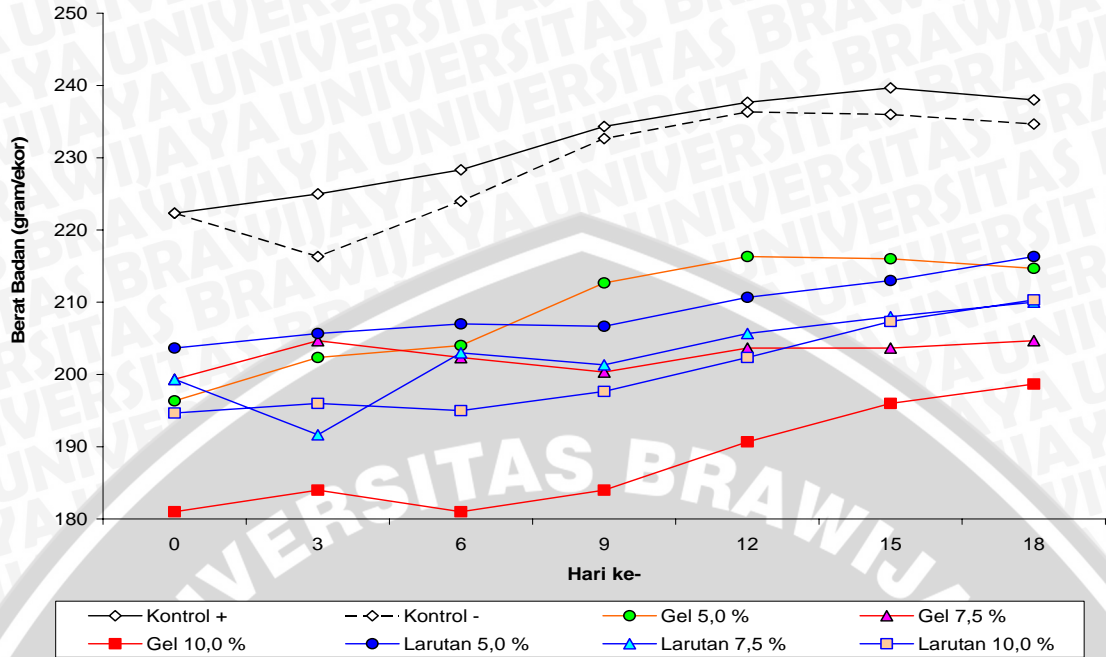
Berat badan tikus percobaan diamati setiap 3 hari sekali untuk mengetahui perubahan berat badan yang terjadi. Pengamatan berat badan tikus dilakukan sebelum pengambilan darah agar tikus yang ditimbang tidak mengalami stres saat ditimbang.

Tabel 12. Data berat badan tikus

Hari ke-	Kontrol (+)	Kontrol (-)	Gel 5,0 %	Gel 7,5 %	Gel 10,0 %	Larutan 5,0 %	Larutan 7,5 %	Larutan 10,0 %
0	222.33±14.5	222.33±21.13	196.33±18.56	199.33±22.5	181±7.81	203.67±12.5	199.33±11.93	202.38±18.51
3	225±16.82	216.33±18.56	202.33±21.13	204.67±23.09	184±7.21	205.67±10.07	191.67±20.31	203.21±18.92
6	228.33±11.93	224±18.08	204±18.08	202.33±24.66	181±12.17	207±12.29	203±6.25	205.58±18.98
9	234.33±10.02	232.67±20.21	212.67±20.21	200.33±24.66	184±12.17	206.67±9.87	201.33±6.81	208.71±20.81
12	237.67±11.24	236.33±23.01	216.33±23.01	203.67±24.01	190.67±12.9	210.67±6.03	205.67±8.02	212.92±20.68
15	239.67±7.37	236±22.27	216±22.27	203.67±20.01	196±16.64	213±5.57	208±8	214.96±19.49
18	238±7.55	234.67±21.5	214.67±21.5	204.67±20.5	198.67±16.07	216.33±4.04	210±8.19	215.92±18.21

Dari Tabel 12 terlihat bahwa berat badan tikus telah homogen dengan standar deviasi tertinggi mencapai 24,66. Untuk tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk gel pada konsentrasi 10,0 % mengalami kenaikan berat badan rata-rata tertinggi dari 181 gram pada hari ke- 0 menjadi 198,67 gram pada hari ke- 18. sedangkan tikus dengan perlakuan gel 7,5 % mengalami kenaikan berat badan rata-rata terendah dari 199,33 gram pada hari ke- 0 menjadi 204,67 gram pada hari ke- 18.

Dari hasil pengamatan, didapat rata-rata berat badan tikus setiap 3 hari yang dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 7. Grafik pengaruh pemberian rumput laut *Gracilaria verrucosa* terhadap berat badan tikus

Dari Gambar 7 dapat dijelaskan bahwa berat badan akhir tikus percobaan mengalami kenaikan dibandingkan berat badan awalnya. Namun kenaikan yang terjadi kurang signifikan. Hal ini berhubungan erat dengan pola konsumsi pakan tikus. Pola konsumsi pakan tikus berlangsung normal, artinya semua tikus mengonsumsi makanan secara normal sehingga berpengaruh terhadap berat badan tikus.

Untuk mengetahui laju pertumbuhan tikus per 3 hari dapat digunakan rumus :

$$\text{Laju pertumbuhan (\%)} : \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \times 100 \%$$

Keterangan :

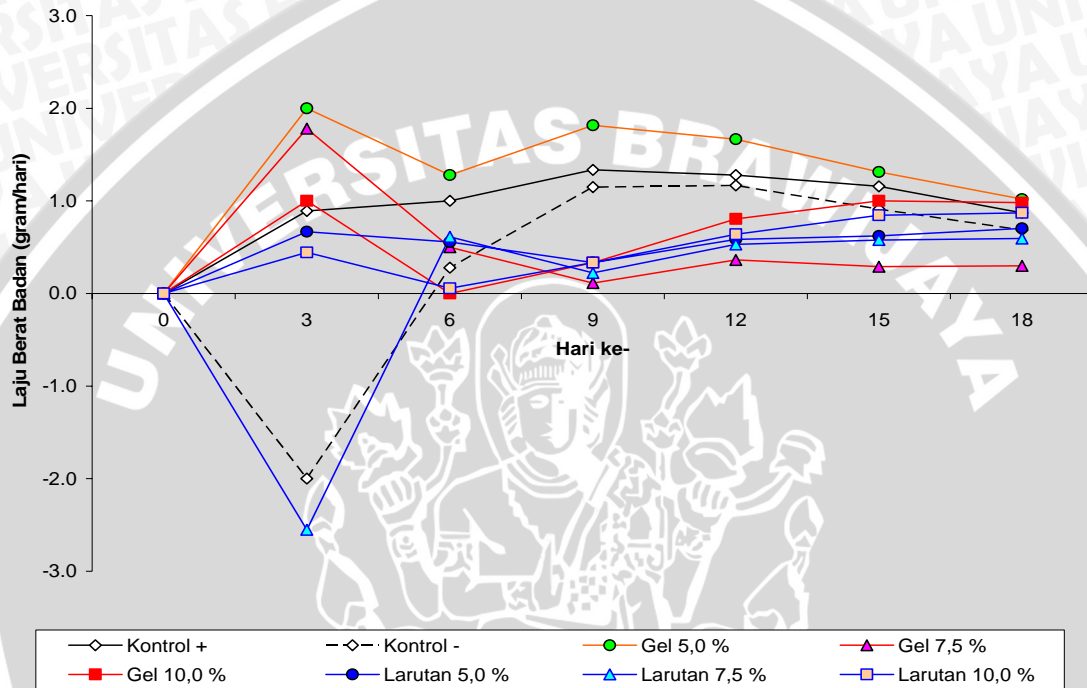
$W_2$  : Berat badan pada hari ke-x

$W_1$  : Berat badan pada hari sebelumnya

$T_2$  : Hari ke-x

$T_1$  : Hari sebelumnya

Secara umum, tikus yang mengkonsumsi rumput laut dalam bentuk gel mengalami kenaikan berat badan yang relatif lebih banyak daripada tikus yang mengkonsumsi rumput laut dalam bentuk larutan. Perbedaan tersebut dikarenakan dengan mengkonsumsi gel cenderung lebih mengenyangkan dan lebih sedikit dalam mengeluarkan feses. Sehingga sisa makanan yang disimpan dalam tubuh lebih banyak.



Gambar 8. Grafik laju pertumbuhan berat badan tikus (gram/hari)

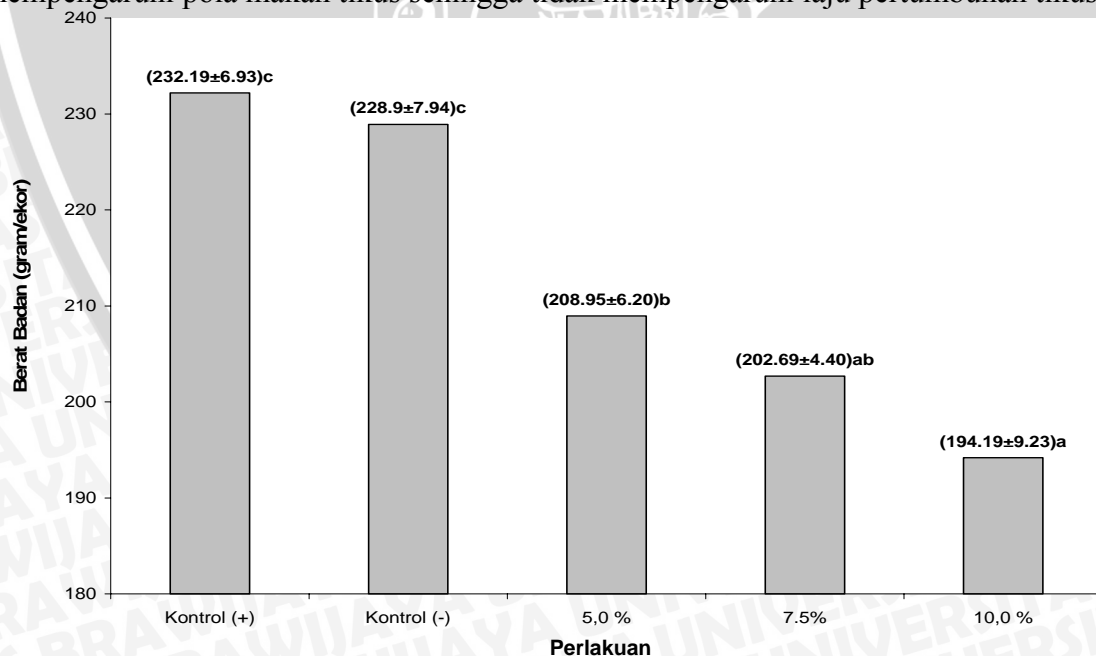
Dari grafik diatas terlihat fluktuasi perubahan berat badan tikus tidak terlalu besar. Untuk tikus yang mengonsumsi tepung rumput laut dalam bentuk gel mengalami penambahan berat badan yang lebih besar. Salah satu kemampuan serat makanan adalah menahan air dan viskositas (membentuk cairan kental) dengan kemampuan ini serat larut dapat menunda pengosongan makanan dari lambung, sehingga menahan kenyang lebih lama (Anonymous, 2007).

Perbedaan konsentrasi rumput laut memberikan perbedaan yang nyata terhadap berat badan tikus. Dari hasil uji statistik menggunakan uji Tukey tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dengan konsentrasi 5,0 % tidak berbeda nyata dengan tikus

dengan perlakuan penambahan rumput laut dengan konsentrasi 7,5 %. Namun tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dengan konsentrasi 10,0 % berbeda nyata dengan dua konsentrasi lainnya. Hal ini berarti, untuk penambahan rumput laut sebesar 2,5 % tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap berat badan tikus, berbeda halnya dengan penambahan sebesar 5,0 %.

Penambahan rumput laut dengan konsentrasi 10,0 % lebih lambat dalam meningkatkan berat badan dibanding dengan penambahan rumput laut dengan konsentrasi 5,0 % atau 10,0 %. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari Gambar 9.

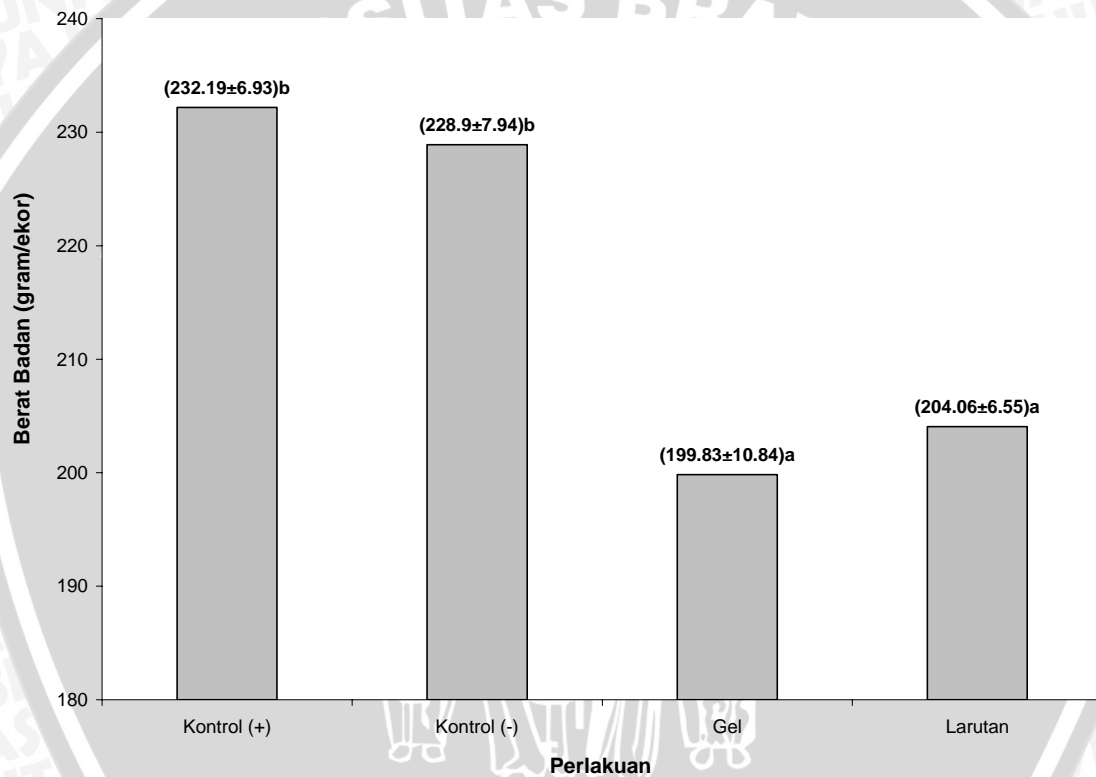
Namun demikian, bentuk rumput laut yang berbeda (gel dan larutan) tidak memperlihatkan pengaruh yang signifikan terhadap berat badan tikus. Secara fisik, bentuk gel rumput laut tidak terlalu berbeda dengan bentuk larutannya sehingga tidak berpengaruh terhadap berat badan tikus. Hal inilah yang mengakibatkan perbedaan bentuk rumput laut *Gracilaria verrucosa* yang diberikan kepada tikus percobaan tidak mempengaruhi pola makan tikus sehingga tidak mempengaruhi laju pertumbuhan tikus.



Gambar 9. Grafik pengaruh penambahan rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam konsentrasi berbeda terhadap berat badan tikus

Perbedaan bentuk rumput laut tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap berat badan tikus. Dari hasil uji statistik menggunakan uji Tukey, tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk gel tidak berbeda nyata dengan tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk larutan. Hal ini berarti, untuk penambahan rumput laut dalam bentuk gel atau larutan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap berat badan tikus. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari

Gambar 10.



Gambar 10. Grafik pengaruh penambahan rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk berbeda terhadap berat badan tikus

#### 4.3.2 Konsumsi Pakan

Jumlah ransum yang dikonsumsi oleh tikus dapat diketahui dengan menghitung selisih antara jumlah pakan yang diberikan dengan sisa pakan masing-masing tikus. Jumlah pakan yang dikonsumsi dihitung setiap hari pada masing-masing tikus percobaan. Data konsumsi pakan tikus dapat dilihat dari Tabel 13.

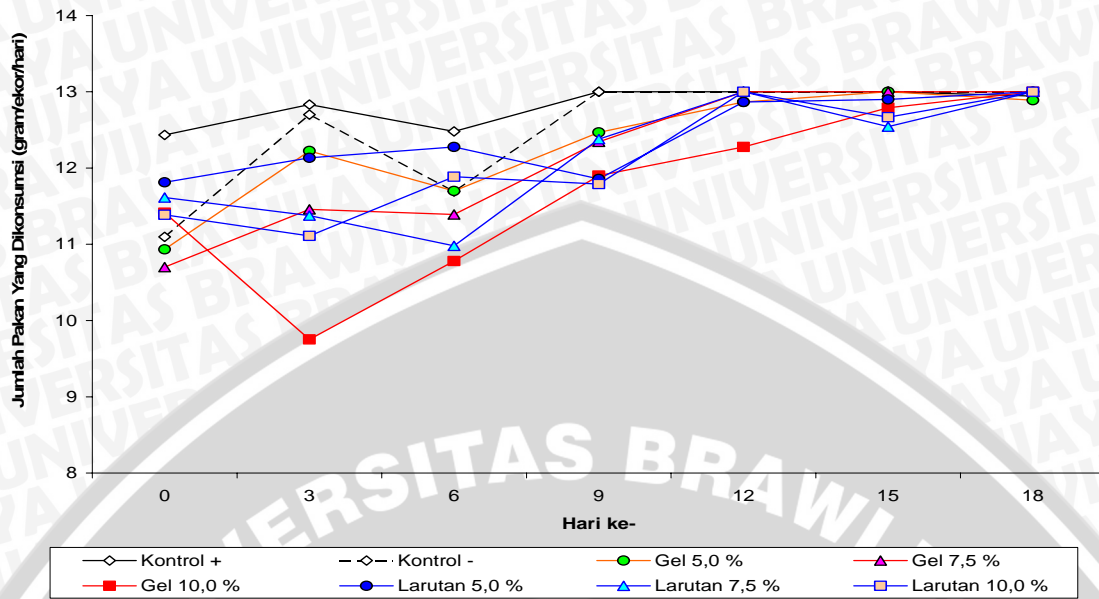


Pada penelitian ini, pemberian rumput laut dilakukan secara oral dengan menginjeksikan tepung rumput laut yang telah dimodifikasi menjadi bentuk larutan dan gel menggunakan sonde. Pakan diberikan secara *ad libitum*. Dari Tabel 13 terlihat bahwa secara umum jumlah konsumsi pakan tikus selama 18 hari cenderung konstan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan rumput laut dengan bentuk dan konsentrasi yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap jumlah pakan yang dikonsumsi ( $p > 0,5$ )

Tabel 13 Data konsumsi pakan tikus (gram/ekor/hari)

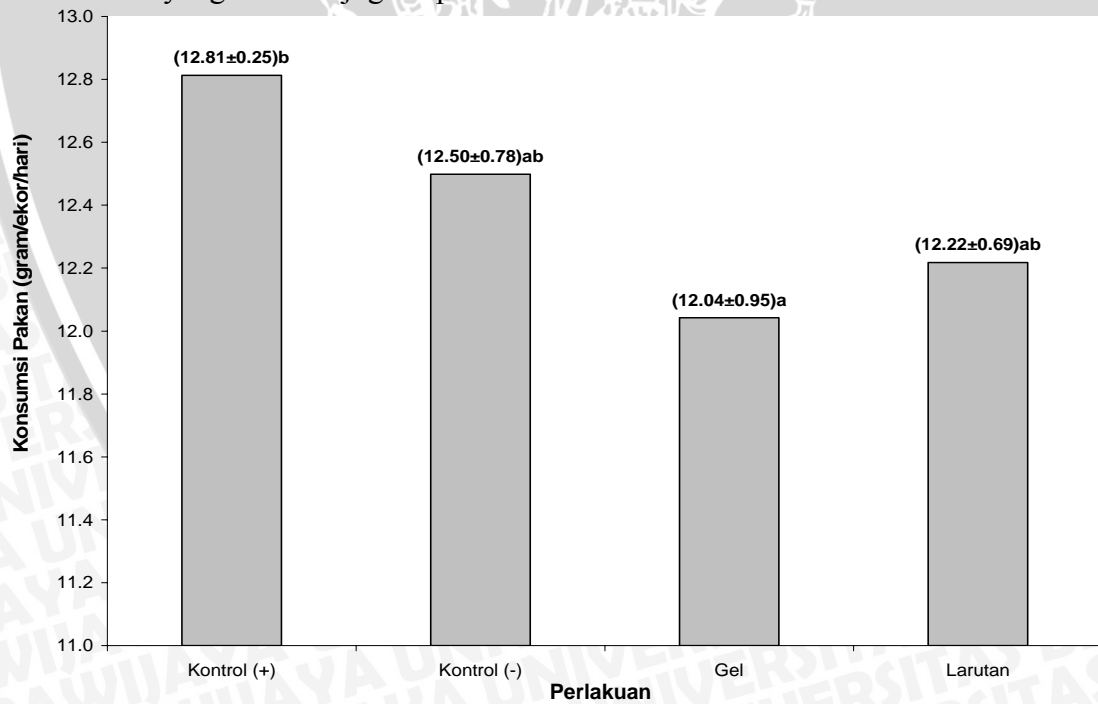
Hari ke-	Kontrol (+)	Kontrol (-)	Gel 5 %	Gel 7,5 %	Gel 10 %	Larutan 5 %	Larutan 7,5 %	Larutan 10 %
0	12.43±0.15	11.10±0.35	10.93±0.49	10.70±0.29	11.41±0.30	11.81±0.24	11.61±0.32	11.42±0.58
3	12.83±0.29	12.70±0.52	12.22±0.69	11.46±2.67	9.75±1.72	12.13±1.05	11.38±1.45	11.70±1.57
6	12.48±0.45	11.69±1.03	11.70±1.30	11.39±1.72	10.78±1.97	12.28±1.25	10.98±2.27	11.65±1.36
9	13±0	13±0	12.47±0.92	12.34±1.14	11.90±1.04	11.86±1.98	12.38±0.54	12.34±0.99
12	13±0	13±0	12.87±0.23	13±0	12.28±1.25	12.87±0.23	13±0	12.88±0.45
15	13±0	13±0	13±0	13±0	12.79±0.36	12.90±0.17	12.54±0.4	12.86±0.29
18	12.94±0.10	13±0	12.89±0.19	13±0	13±0	13±0	13±0	12.98±0.07

Serat memegang peranan penting di dalam tubuh, sebut saja kemampuan serat larut menahan air sehingga dapat menunda pengosongan makanan di dalam lambung, menghambat pencampuran isi saluran cerna dengan enzim-enzim pencernaan sehingga mengurangi penyerapan zat makanan di usus bagian proksimal. Melihat kemampuan menunda pengosongan makanan atau menunda kenyang lebih lama, tidak mengherankan kalau mereka yang puasa dianjurkan untuk mengonsumsi makanan berserat (Anonymous, 2007).



Gambar 11. Grafik pengaruh pemberian rumput laut *Gracilaria verrucosa* terhadap jumlah konsumsi pakan

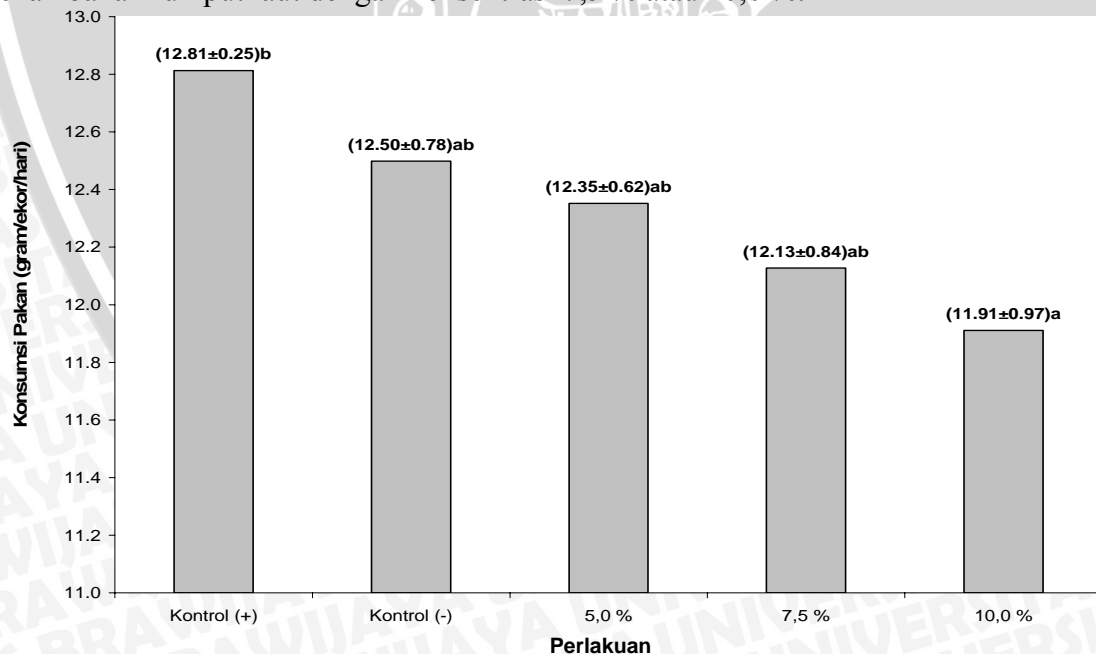
Perbedaan jumlah konsumsi pakan tikus berdasarkan pemberian rumput laut dalam bentuk yang berbeda juga dapat dilihat dalam Gambar 12



Gambar 12. Pengaruh penambahan rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk berbeda terhadap jumlah konsumsi pakan tikus

Dari tabel terlihat, perbedaan bentuk rumput laut yang dikonsumsi oleh tikus tidak memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah konsumsi pakan. Hal ini disebabkan secara fisik, rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* yang dimodifikasi dalam bentuk larutan tidak jauh berbeda dengan bentuk gelnya. Tingkat konsumsi pakan tikus yang diberikan tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk larutan atau gel tergolong tinggi, mencapai lebih dari 90 % dari total pakan yang diberikan. Hal ini membuktikan bahwa perbedaan bentuk rumput laut yang dikonsumsi oleh tikus tidak mempengaruhi pola makan tikus.

Sedangkan pengaruh konsentrasi rumput laut terhadap jumlah konsumsi pakan tikus dapat dilihat pada Gambar 13. Perbedaan konsentrasi rumput laut tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap konsumsi pakan tikus ( $p > 0,5$ ). Dari hasil uji statistik menggunakan uji Tukey, tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dengan konsentrasi 5,0 % tidak berbeda nyata dengan tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dengan konsentrasi 7,5 % atau 10,0 %.



Gambar 13. Pengaruh penambahan rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam konsentrasi berbeda terhadap jumlah konsumsi pakan tikus

Dari gambar diatas terlihat, perbedaan konsentrasi rumput laut yang dikonsumsi oleh tikus tidak memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah konsumsi pakan. Hal ini disebabkan secara fisik, rumput laut jenis *Gracilaria verrucosa* pada konsentrasi yang lebih rendah tidak berbeda dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Tingkat konsumsi pakan tikus yang diberikan tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* pada konsentrasi yang berbeda tergolong tinggi, mencapai lebih dari 90 % dari total pakan yang diberikan. Hal ini membuktikan bahwa perbedaan konsentrasi rumput laut yang dikonsumsi oleh tikus tidak mempengaruhi pola makan tikus.

#### 4.3.3 Berat Feses

Penghitungan berat feses tikus percobaan dilakukan untuk mengetahui peranan serat terhadap pencernaan tikus percobaan. Berat feses dihitung dengan menimbang feses yang dikeluarkan tikus menggunakan timbangan analitik. Feses tikus ditimbang tiap hari selama tikus diberi ransum perlakuan. Data berat feses yang dikeluarkan tikus dapat dilihat dari Tabel 14.

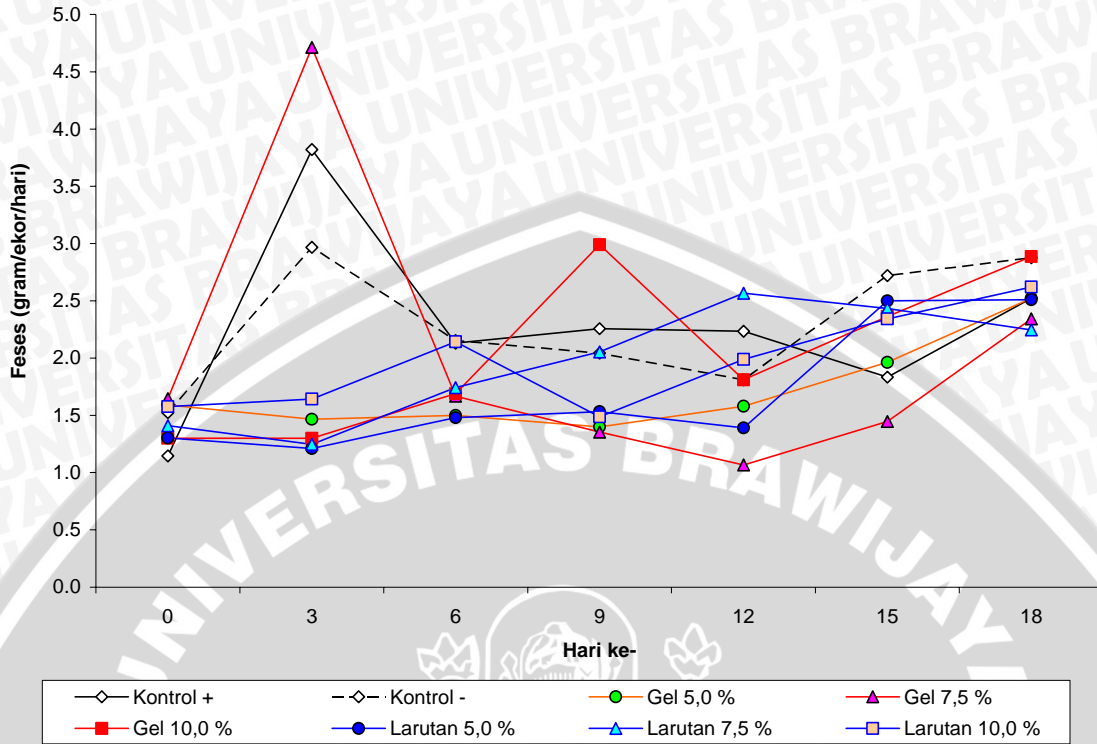
Tabel 14. Data berat feses yang dikeluarkan tikus (gram/ekor/hari)

Hari ke-	Kontrol (+)	Kontrol (-)	Gel 5,0 %	Gel 7,5 %	Gel 10,0 %	Larutan 5,0 %	Larutan 7,5 %	Larutan 10,0 %
0	1.15±0.04	1.52±0.15	1.59±0.30	1.65±0.33	1.30±0.15	1.30±0.06	1.41±0.26	1.44±0.25
3	3.82±0.62	2.97±0.25	1.47±0.24	4.71±0.22	1.30±0.34	1.21±0.75	1.25±0.33	2.3±1.35
6	2.13±0.95	2.15±0.96	1.50±0.19	1.67±0.45	1.69±0.47	1.48±0.28	1.74±0.22	1.81±0.54
9	2.26±0.81	2.04±0.6	1.40±0.12	1.35±0.17	2.99±0.44	1.53±0.33	2.05±1.32	1.89±0.75
12	2.23±0.24	1.81±0.99	1.58±0.26	1.07±0.24	1.81±0.17	1.39±0.17	2.57±1.24	1.81±0.68
15	1.83±0.26	2.72±1.11	1.96±0.06	1.45±0.34	2.36±0.15	2.5±0.26	2.43±0.62	2.2±0.62
18	2.52±0.37	2.88±0.85	2.52±0.25	2.34±0.42	2.89±0.36	2.51±0.65	2.25±0.32	2.57±0.47

Dari hasil analisis statistik menunjukkan perbedaan bentuk dan konsentrasi tidak memperlihatkan perbedaan yang nyata ( $p > 0,05$ ) terhadap berat feses tikus. Hal ini berarti, tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk gel, mengeluarkan berat feses yang hampir sama dengan tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk larutan. Tidak adanya perbedaan ini mengindikasikan perbedaan bentuk rumput laut *Gracilaria verrucosa* yang dikonsumsi tikus tidak mempengaruhi pencernaan. Hal ini diakibatkan secara fisik, bentuk larutan dan gel dari *Gracilaria verrucosa* tidak memperlihatkan perbedaan yang berarti sehingga pengaruhnya terhadap pencernaan kurang signifikan.

Demikian halnya tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam konsentrasi yang berbeda tidak memperlihatkan perbedaan yang nyata ( $p > 0,05$ ). Tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam konsentrasi rendah (5,0 %) tidak memperlihatkan perbedaan yang nyata dibandingkan tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam konsentrasi tinggi (10,0 %). Hal ini diakibatkan secara fisik, bentuk larutan dan gel dari *Gracilaria verrucosa* tidak memperlihatkan perbedaan yang berarti sehingga pengaruhnya terhadap pencernaan kurang signifikan.

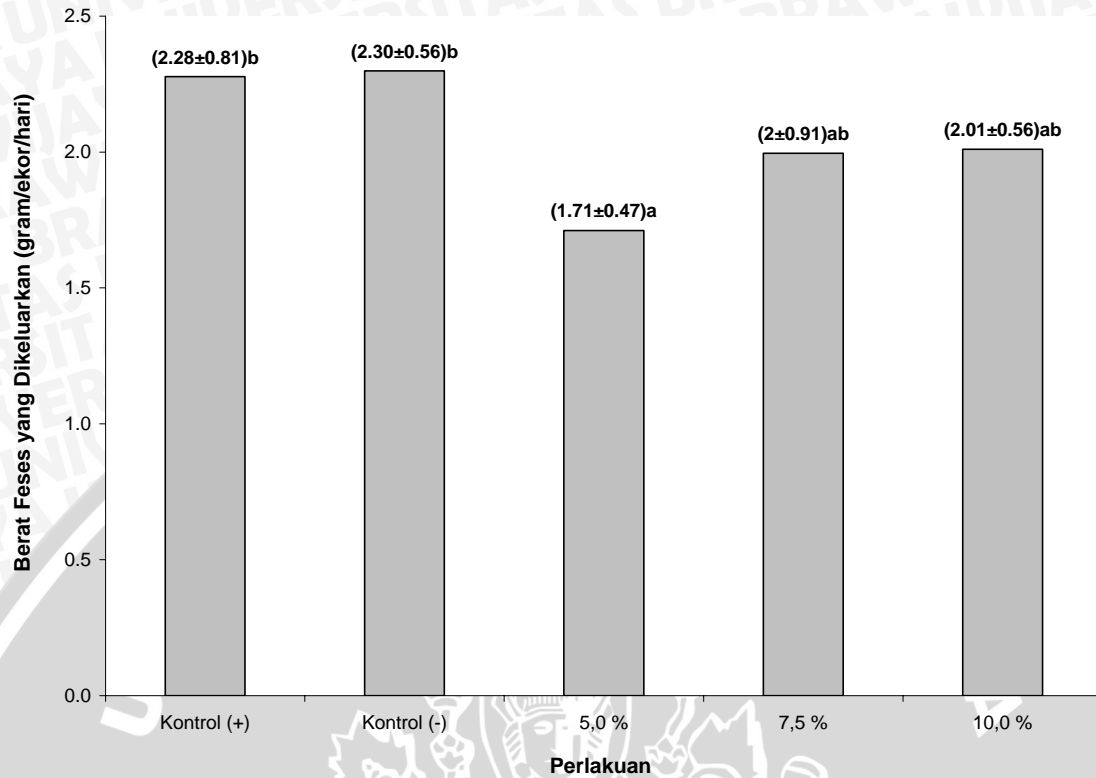
Secara keseluruhan, tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk gel dalam konsentrasi 10,0 % mengeluarkan feses yang paling banyak dibandingkan tikus dengan perlakuan yang lain. Pengaruh penambahan rumput laut terhadap jumlah feses yang dikeluarkan tikus selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik pengaruh pemberian rumput laut *Gracilaria verrucosa* terhadap berat feses tikus

Perbedaan konsentrasi rumput laut yang diberikan kepada tikus tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap jumlah feses yang dikeluarkan tikus. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 15.

Serat makanan dari rumput laut benar-benar mampu mempercepat gerak peristaltik usus sekaligus memudahkan pengeluaran sisa makanan dengan cara mengikat sisa makanan dalam usus dan menyerap air sebanyak-banyaknya, dengan begitu volume feses meningkat dan lunak sehingga dengan mudah dan cepat dikeluarkan oleh usus. Penambahan konsentrasi rumput laut berbanding lurus dengan berat feses yang dikeluarkan tikus. Semakin tinggi konsentrasi rumput laut yang dikonsumsi tikus, semakin banyak feses yang dikeluarkan tikus, begitu juga sebaliknya.

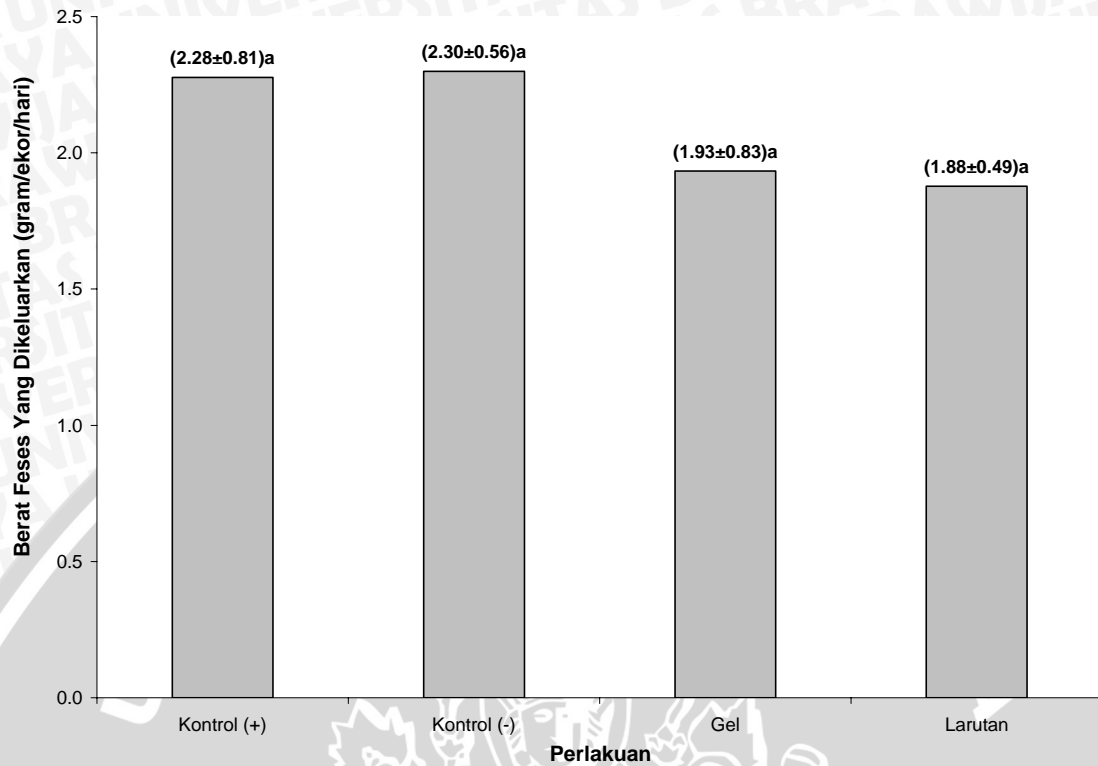


Gambar 15. Pengaruh perbedaan konsentrasi rumput laut terhadap berat feses tikus

Pun demikian dengan perbedaan bentuk rumput laut yang dikonsumsi juga tidak berpengaruh nyata terhadap berat feses tikus. Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 16.

Perbedaan bentuk rumput laut yang dikonsumsi tidak mempengaruhi berat feses yang dikeluarkan. Hal ini diakibatkan secara fisik, bentuk larutan dan gel dari *Gracilaria verrucosa* tidak memperlihatkan perbedaan yang berarti sehingga pengaruhnya terhadap pencernaan kurang signifikan.

Sifat pembentukan gel ini bervariasi dari satu jenis hidrokoloid ke hidrokoloid lainnya. Tergantung pada jenisnya, gel mungkin mengandung lebih dari 99,9% air tetapi sifat lebih khas seperti padatan, khususnya sifat elastisitas (*elasticity*) dan kekakuan (*rigidity*) (Fardiaz, 1989).



Gambar 16. Pengaruh perbedaan bentuk rumput laut terhadap berat feses tikus

#### 4.3.4 Kadar Glukosa Darah

Menurut Martha (2004), pengukuran kadar glukosa darah tikus dilakukan dengan metode GOD-PAP. Sebelum diambil darahnya, tikus dipuasakan dahulu selama  $\pm$  12 jam. Tujuan dari perlakuan ini adalah agar darah yang dianalisis benar-benar darah murni. Pengambilan serum darah melalui *sinus orbitalis* sebanyak 1 ml dengan menggunakan *mikrohaemotokrit* dan dimasukkan pada tabung *appendorf* kemudian didiamkan 30 menit pada suhu ruangan (hingga menjeda) dan disentrifuse 15 menit pada kecepatan 3000 rpm (hingga terbentuk 2 lapisan). Lapisan atas yang berwarna jernih kekuningan adalah serum yang kemudian diambil dengan pipet dan dimasukkan ke dalam *appendorf* lalu diukur kadar glukosa darahnya.

Data kadar glukosa darah tikus selama penelitian dapat dilihat dari Tabel 14

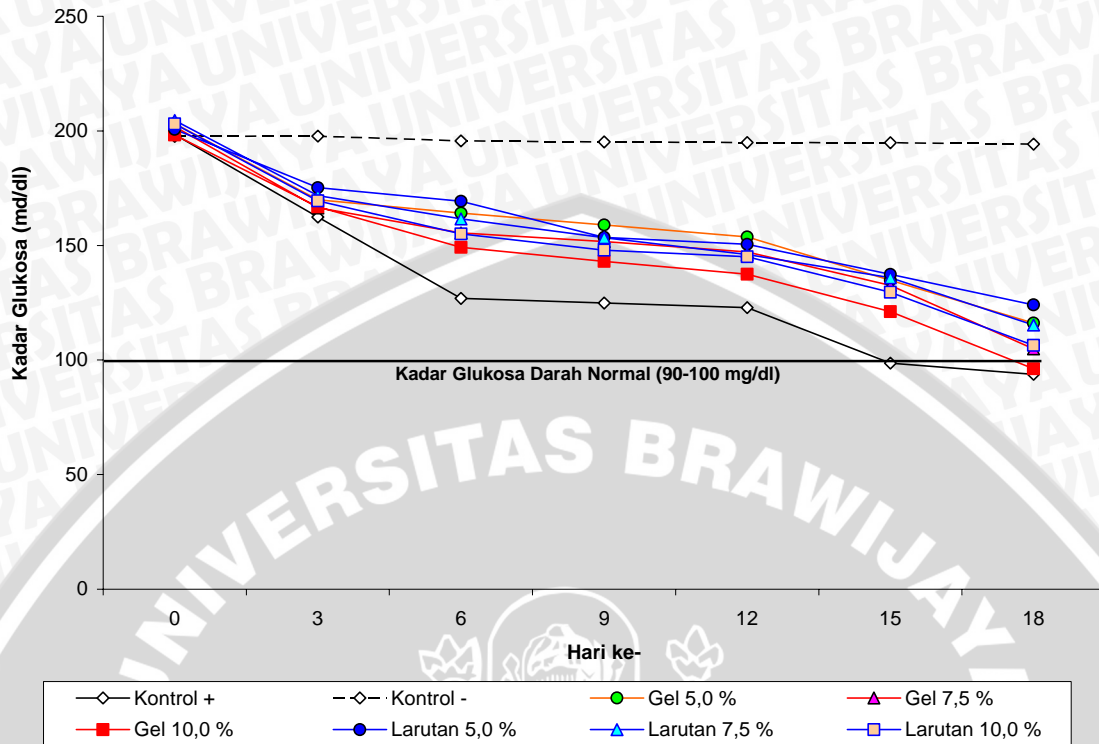


Tabel 15. Data kadar glukosa darah tikus (mg/dl)

Hari ke-	Kontrol (+)	Kontrol (-)	Gel 5,0 %	Gel 7,5 %	Gel 10,0 %	Larutan 5,0 %	Larutan 7,5 %	Larutan 10,0 %
0	198.39±5.43	197.59±2.81	203.11±1.45	201.78±2.42	198.21±2.24	200.66±4.84	204.54±7.03	200.92±4.15
3	162.38±2.73	197.72±1.67	169.91±2.06	166.43±2.43	166.88±3.43	175.22±5.96	171.74±6.28	172.47±10.87
6	126.90±1.45	195.58±0.40	164.16±3.19	155.45±3.82	149.21±4.02	169.29±5.83	161.57±7.05	159.65±18.82
9	124.90±0.81	195.18±0.40	158.93±3.68	151.70±3.04	143.05±4.26	153.54±2.91	153.40±6.47	153.58±19.10
12	122.89±0.40	194.91±0.23	153.71±3.95	147.15±2.62	137.43±3.07	150.46±2.73	146.04±2.29	149.71±19.80
15	98.66±0.84	194.78±0.40	134.84±4.19	132.56±3.22	121.10±2.01	137.34±3.57	135.87±1.62	135.59±25.96
18	93.71±0.62	194.24±0.84	116.10±3.37	104.85±1.4	96.20±1.06	124.09±0.81	115.25±0.81	118.86±30.73

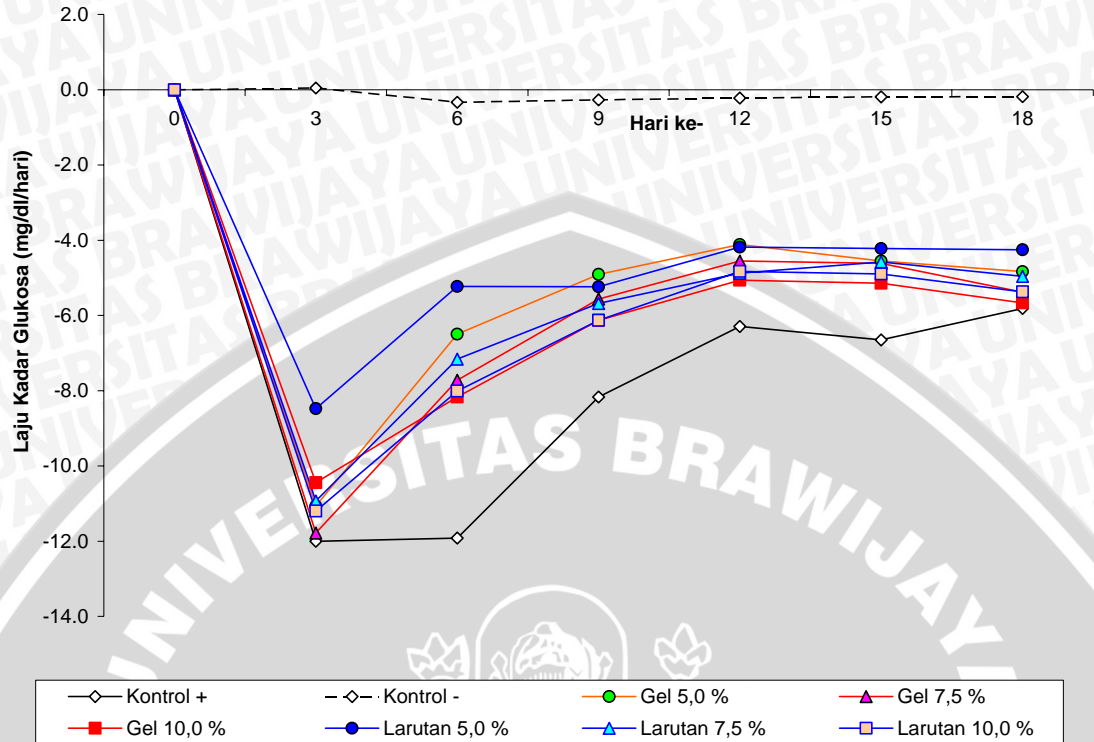
Dari analisis statistik (Lampiran 3) menunjukkan bahwa bentuk dan konsentrasi yang berbeda dari rumput laut yang dikonsumsi tikus berpengaruh nyata terhadap kadar glukosa darah tikus. Perbedaan pengaruh bentuk rumput laut terhadap kadar glukosa darah dapat dilihat dari Tabel 14. Dari Tabel 14 terlihat bahwa pada tikus dengan perlakuan kontrol (-), kadar glukosa yang tercatat selama penelitian adalah stabil. Hal tersebut dikarenakan untuk tikus dengan perlakuan kontrol (-) hanya mendapatkan serat dari CMC yang ada dalam ransum standar saja. Sedangkan untuk tikus dengan perlakuan kontrol positif, kadar glukosa darah yang tercatat selama penelitian terus mengalami penurunan dari 198,39 mg/dl pada hari ke-0 hingga mencapai 93,70 mg/dl pada hari ke-18

Sedangkan untuk tikus perlakuan penambahan rumput laut, semua mengalami penurunan. Untuk tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk gel pada konsentrasi 10,0 % mengalami penurunan dari 198,21 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 96,20 mg/dl pada hari ke 18. Untuk tikus dengan perlakuan gel 7,5 % mengalami penurunan dari 201,77 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 104,85 mg/dl pada hari ke 18. Untuk tikus dengan perlakuan gel 5,0 % mengalami penurunan dari 203,11 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 116,1 mg/dl pada hari ke 18.



Gambar 17. Grafik pengaruh pemberian rumput laut *Gracilaria verrucosa* terhadap kadar glukosa darah tikus

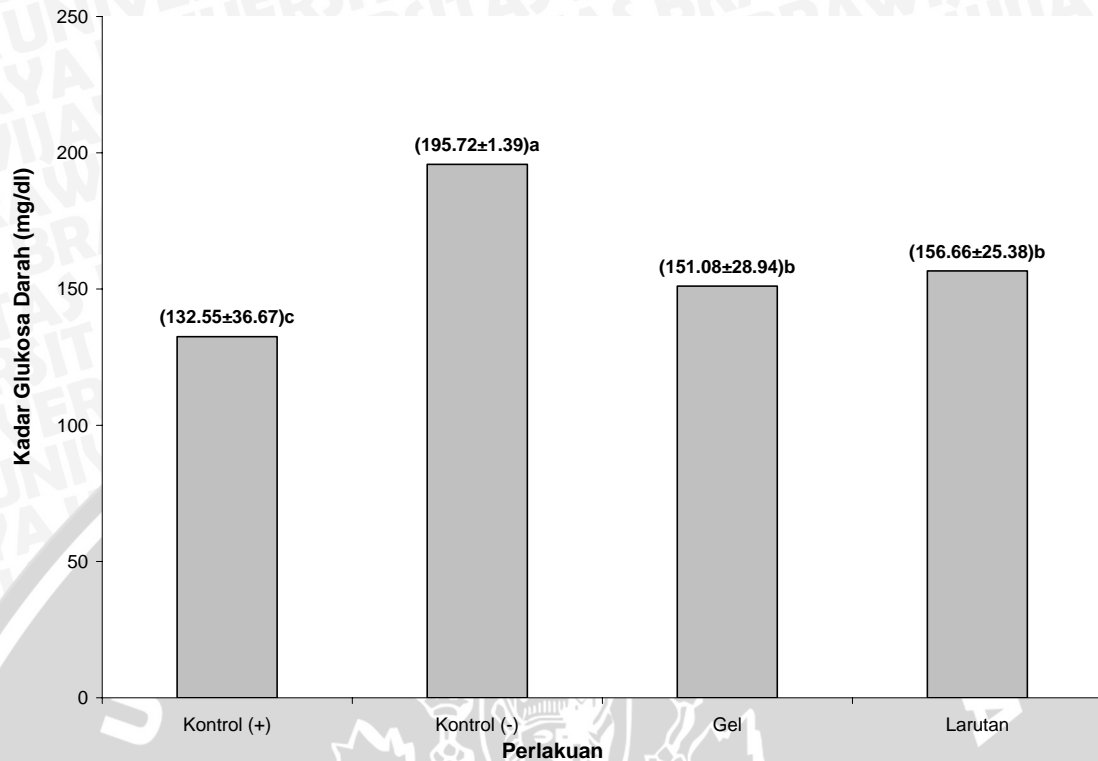
Untuk tikus dengan perlakuan larutan 10,0 % mengalami penurunan dari 203,07 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 106,41 mg/dl pada hari ke 18. Untuk tikus dengan perlakuan larutan 7,5 % mengalami penurunan dari 204,54 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 115,25 mg/dl pada hari ke 18. Untuk tikus dengan perlakuan larutan 5,0 % mengalami penurunan dari 200,66 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 124,08 mg/dl pada hari ke 18. Penurunan kadar glukosa darah tertinggi terjadi pada 3 hari pertama dengan penurunan mencapai 10,65 mg/dl/hari. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari gambar laju penurunan kadar glukosa darah pada Gambar 18



Gambar 18. Grafik pengaruh pemberian rumput laut *Gracilaria verrucosa* terhadap laju penurunan kadar glukosa darah tikus

Dari hasil tersebut terlihat bahwa tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk gel lebih efektif dalam menurunkan kadar glukosa darah. Hal ini diperjelas dengan grafik pengaruh bentuk rumput laut terhadap kadar glukosa darah yang tersaji pada Gambar 19.

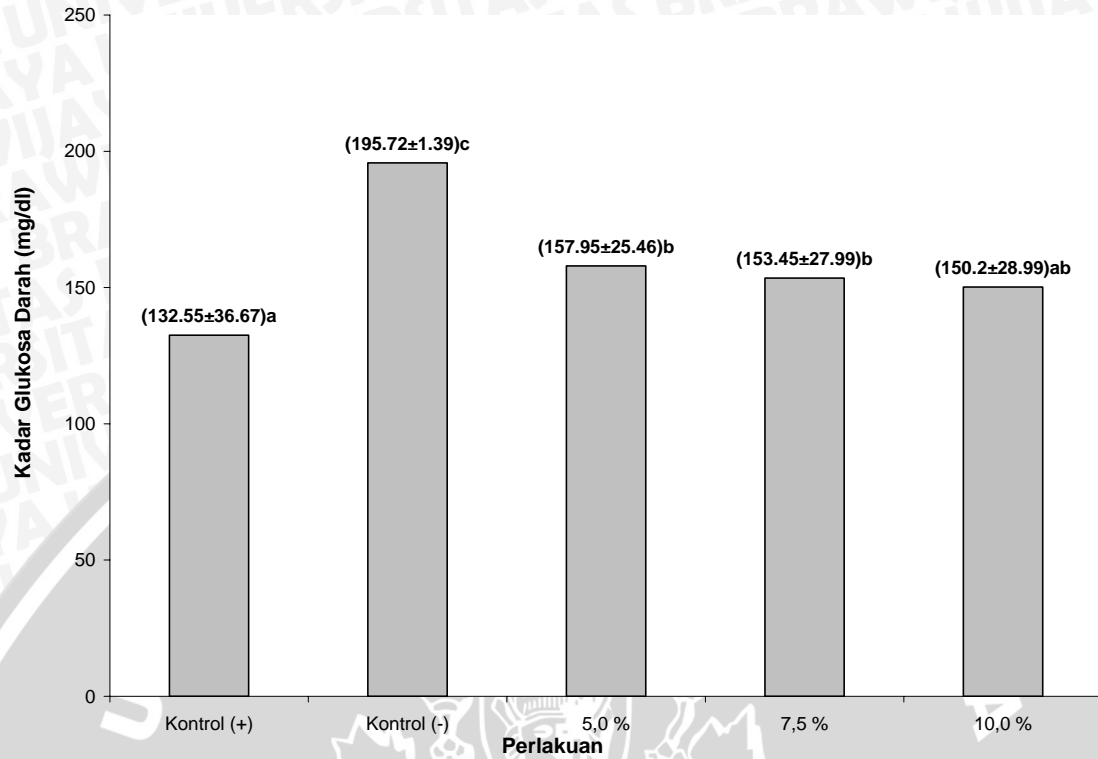
Semua hidrokoloid akan larut atau terdispersi dalam air untuk memberikan pengaruh pengentalan. Sifat utama lainnya dari hidrokoloid adalah pembentukan gel. Pembentukan gel atau gelasi (*gelation*) adalah suatu fenomena yang mengikutsertakan penggabungan atau pengikatan silang (*cross link*) dari rantai-rantai polimer membentuk suatu jala kontinyu tiga dimensi. Selanjutnya jala ini dapat menangkap atau membentuk struktur kuat yang kaku dan tahan terhadap aliran di bawah tekanan (Fardiaz, 1989).



Gambar 19. Pengaruh perbedaan bentuk rumput laut terhadap kadar glukosa darah tikus

Sedangkan untuk perbedaan konsentrasi, terlihat bahwa tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dengan konsentrasi yang lebih tinggi dapat mengurangi kadar glukosa darah lebih efektif. Menurut Martha (2004) perbedaan konsentrasi rumput laut akan menimbulkan perbedaan kekentalan cairan pada saluran pencernaan, yang selanjutnya menimbulkan perbedaan kemampuan dan kekuatan pengikatan glukosa dan nutrien-nutrien oleh saluran pencernaan sehingga menimbulkan perbedaan terhadap laju absorpsi glukosa dan nutrien dari saluran pencernaan ke dalam pembuluh darah, dimana pada akhirnya akan berpengaruh terhadap laju peningkatan kadar glukosa darah.

Hal ini diperjelas dengan garfik pengaruh konsentrasi rumput laut terhadap kadar glukosa darah yang tersaji pada Gambar 20



Gambar 20. Pengaruh perbedaan konsentrasi rumput laut terhadap kadar glukosa darah tikus

Untuk tikus dengan perlakuan kontrol (+), yaitu dengan pemberian obat antidiabetik *glibenklamid*, terjadi penurunan kadar glukosa darah yang cukup signifikan bahkan cenderung lebih efektif dibandingkan dengan tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk gel pada konsentrasi 10,0 % sekalipun. Hal ini berarti obat antidiabetik *glibenklamid* cenderung lebih efektif dibandingkan rumput laut dalam bentuk gel pada konsentrasi 10,0 %.

Sedangkan untuk tikus dengan perlakuan kontrol (-), yaitu hanya diberikan ransum standar, terjadi penurunan kadar glukosa darah sebesar 3,35 mg/dl. Penurunan ini terjadi akibat adanya kandungan CMC pada ransum standar. Dengan kata lain, kondisi diabetik yang dihasilkan dari injeksi *alloxan* pada penelitian ini belum bersifat permanen meskipun kadar glukosa darahnya mencapai diatas 180 mg/dl.

Secara umum, penurunan kadar glukosa darah tikus dapat langsung terlihat pada hari ke 3. Hal ini membuktikan bahwa dampak pemberian rumput laut sebagai alternatif obat antidiabetik dapat dirasakan dalam waktu yang relatif singkat. Keefektifan gel dalam menurunkan kadar glukosa darah terkait erat dengan proses pembuatan gel.

Menurut Fardiaz (1989), pembentukan gel polisakarida adalah, pertama rantai polimer dalam larutan pada saat pemanasan terdapat dalam bentuk formasi koil secara acak. Pada saat pendinginan, formasi ini berubah menjadi heliks ganda yang memungkinkan terbentuknya ikatan-ikatan silang yang membentuk jala atau jaringan kontinyu. Pendinginan selanjutnya menyebabkan polimer-polimer menjadi terikat silang secara kuat dan dengan makin bertambahnya bentuk *heliks* akan terbentuk agregat yang bertanggungjawab terhadap terbentuknya gel yang kuat. Jika diteruskan, ada kemungkinan proses pembentukan agregat terus terjadi dan gel mengerut sambil mengeraskan air. Proses terakhir ini disebut *sineresis*.

Menurut Martha (2004), hidrokoloid di dalam proses pencernaan tubuh dapat membentuk gel. Setelah masuk dalam mulut, hidrokoloid tidak langsung membentuk gel karena pH mulut (akibat aktifitas enzim amilase yang dikeluarkan oleh kelenjar saliva mulut) sekitar 6,6–6,8. Proses pencernaan berikutnya yaitu hidrokoloid melewati saluran esofagus menuju ke lambung. Hidrokoloid dalam lambung diduga mulai membentuk gel, hal ini dapat diketahui dari pH lambung sekitar 3,0 – 4,0 akibat aktivitas enzim pepsin dan renin yang optimal pada suhu tersebut. Proses pembentukan gel hidrokoloid dengan cara menyerap air, glukosa, dan nutrisi lain terus berlanjut hingga pada sistem pencernaan berikutnya yaitu di usus halus.

Fardiaz (1989) berpendapat bahwa mekanisme pembentukan gel yang benar adalah melalui dua tahap proses, yaitu dimulai dengan perubahan konformasi

intramolekuler yang tidak berhubungan dengan adanya ion-ion logam kemudian diikuti oleh turunnya kelarutan dan pembentukan ikatan silang yang tergantung pada adanya ion-ion logam yang spesifik yang menyebabkan struktur gel terbentuk

Pada penderita diabetes mempunyai banyak glukosa didalam darah dan air seninya, tetapi tidak cukup banyak didalam sel-selnya. Karena penimbunan glukosa dalam darah terus berlangsung maka pabrik pembersih (ginjal) harus bekerja melampaui batas untuk mengeluarkannya. Gula melimpah ke dalam air seni dan ada kemungkinan terjadi kerusakan ginjal bila terjadi secara terus menerus (Diehl, 1990).

Proses penyerapan gula dari dalam makanan menurut Lanywati (2006), dapat dibedakan menjadi 2 tahap proses, yaitu :

1. Tahap pertama, setelah makanan dikunyah dalam mulut, selanjutnya makanan tersebut masuk ke dalam saluran pencernaan (lambung dan usus). Pada saat itu, gugusan gula majemuk diubah menjadi gugusan gula tunggal, sehingga karbohidrat siap untuk diserap tubuh.
2. Tahap kedua, gugusan gula tunggal melalui ribuan pembuluh kecil menembus dinding usus dan masuk ke pembuluh darah (*vena porta*)

Enzim dalam usus halus bekerja optimal pada pH 4,0 – 6,0. hasil akhir kerja enzim-enzim pencernaan pada usus adalah untuk memecah zat-zat makanan dalam diet menjadi bentuk yang dapat diabsorpsi dan diasimilasi. Produk akhir pencernaan untuk karbohidrat adalah monosakarida (terutama glukosa). Oleh karena itu, hidrokoloid diduga masih dapat menyerap air, glukosa dan nutrisi lainnya hingga membentuk gel yang lebih kuat.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, agar-agar dalam proses pencernaan mengalami proses enzimatik dengan adanya keasaman dalam lambung. Saat kondisi

itulah agar-agar akan melepaskan molekul air dan memperpendek rantai polisakaridanya, sehingga menghindarkan dari kekhawatiran terjadinya penyumbatan usus, selain itu membantu pula menghindari penyakit lambung (Anonymous, 2007).

Sebelum hidrokoloid terbentuk menjadi gel, glukosa akan masuk dan bercampur dengan hidrokoloid. Setelah hidrokoloid menjadi gel dan lebih mengeras, glukosa tidak dapat terlepas dari ikatan hidrokoloid yang kuat. Akhirnya gel hidrokoloid yang telah mengikat glukosa akan keluar dari tubuh bersamaan dengan feses.

Penurunan kadar glukosa darah tikus juga dipengaruhi oleh kandungan serat yang terdapat dalam rumput laut *Gracilaria verrucosa*. *Gracilaria verrucosa* mengandung serat makanan yang cukup tinggi dengan total serat makanan sebesar 69,5 % yang terdiri dari 46,89 % serat makanan larut dan 22,66 % serat makanan tak larut. *Soluble dietary fiber* yang masuk kedalam tubuh manusia akan membentuk gel di dalam usus halus yang membantu memperlambat perjalanan zat makanan untuk memasuki usus besar. Melambatkan penyerapan oleh serat berarti melambatkan kadar penyerapan glukosa oleh tubuh sehingga kadar glukosa dalam tubuh dapat dikontrol.

Adanya unsur-unsur mineral berupa Cl, K, Na, Mg, S, Si, P, Ca, Fe, I, Br, juga diduga mempengaruhi pembentukan gel. Hidrokoloid dapat membentuk gel dengan adanya ion kalsium. Adanya ikatan silang pada struktur rantainya yang distabilkan oleh ion kalsium dapat menetralkan ion yang bermuatan negatif dalam dua rantai yang berbeda dimana akan menghasilkan hidrokoloid yang mempunyai kekuatan gel yang kuat.

Serat makanan di Jepang diartikan sebagai unsur makanan yang bersifat menentang pencernaan dan pengeluaran *gastrointestinal* manusia. Serat makanan telah diteliti mempunyai beberapa efek fisiologis, tergantung sifat fisik dan sifat kimia



sumber serat tersebut (Wang, 2001). Ditambahkan oleh Jimenez-Escrig (2000), Serat makanan adalah suatu campuran kompleks dari kesatuan kimia yang konsentrasi dan komposisinya berbeda dalam sumber berbeda, tidak sama maupun tetap. Perbedaan fisika-kimia serat makanan menentukan kompleksitas peran fisiologis serat makanan. Mengenai polisakarida, masing-masing jenis serat makanan adalah dibedakan berdasarkan residu gula dan sifat alami ikatannya.

Serat makanan mengubah insulin yang beredar dalam darah agar bekerja lebih optimal, sehingga gula dalam darah larut dalam sel dan terpakai. Karena itu kebutuhan insulin berkurang. Dengan begitu tercapailah efek pengaturan tingkat gula darah kaum diabetesi oleh serat makanan (Anonymous, 2006<sup>b</sup>).

Sedangkan serat tak larut yang terkandung dalam *Gracilaria verrucosa* digunakan untuk melancarkan gerak peristaltik usus sehingga memudahkan pengeluaran sisa makanan. Serat menyapu bersih sisa makanan dengan cara mengikat sisa makanan dalam usus dan menyerap air sebanyak-banyaknya, dengan begitu volume feses menjadi meningkat dan lunak sehingga bisa dengan cepat dan mudah dikeluarkan oleh usus.

Karakteristik serat makanan sangat penting untuk memahami tanggapan fisiologis terhadap konsumsi serat makanan dan kemampuan yang potensial untuk memodifikasi resiko penyakit. Di bagian atas bidang *gastrointestinal*, mencakup usus halus dan perut, karakteristik serat akan mengatur lokasi dan tingkat penyerapan dan pencernaan yang penting untuk metabolisme pencernaan karbohidrat dan lipid. Semakin lambat tingkat pengosongan lambung berhubungan dengan konsumsi polisakarida. Efek ini boleh jadi dalam kaitan dengan suatu efek langsung makanan didalam perut atau efek tak langsung dari pembebasan hormon dari berbagai daerah yang berhubungan dengan saluran usus ketika makanan lewat melalui *pyloric sphincter*. Pola terbaik dari

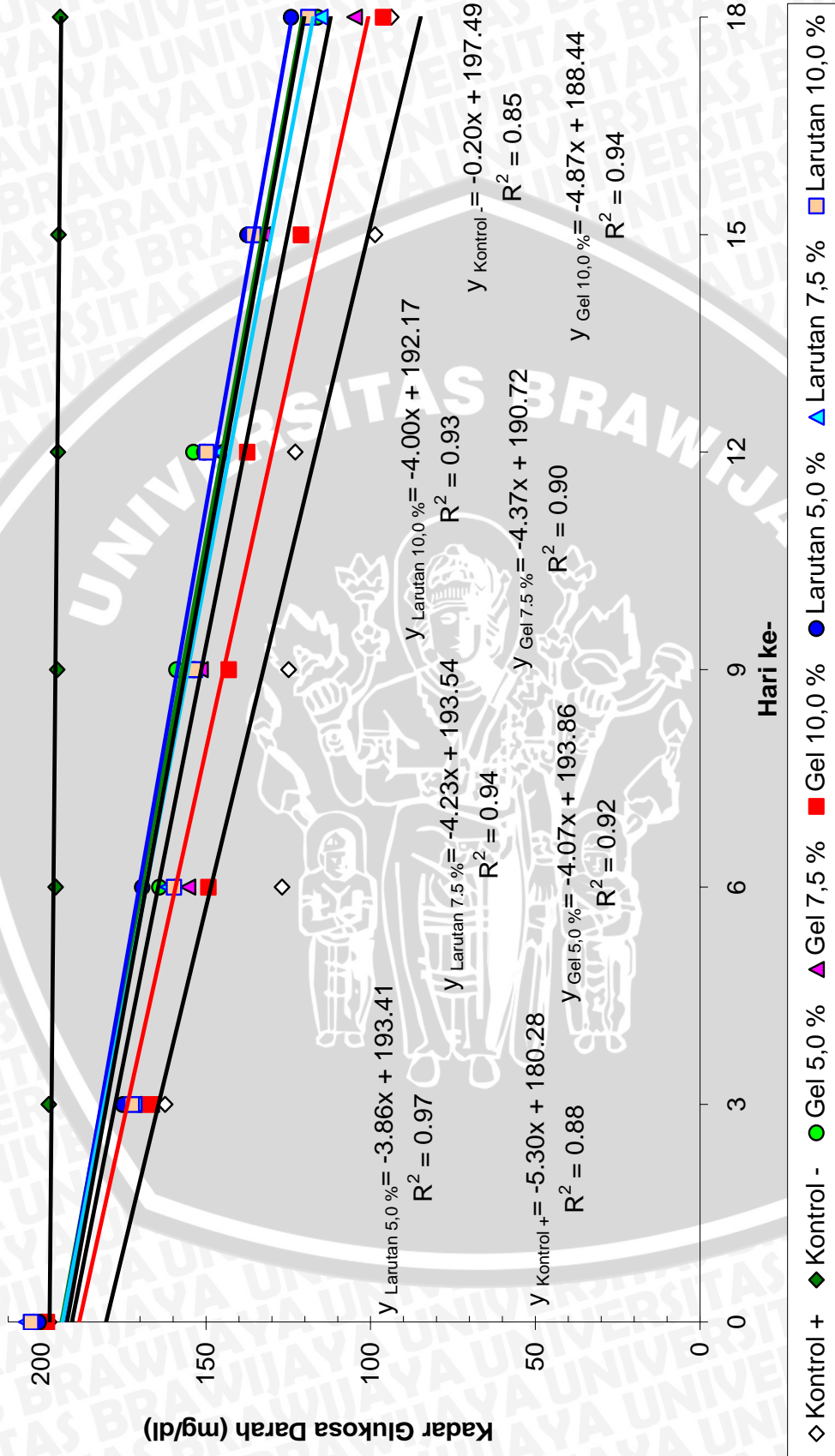
penyerapan bahan gizi dan tampilan di dalam darah dapat diatur dengan mengubah tingkat dimana makanan adalah bagian dari perut ke dalam usus halus. Sebagai contoh, penyerapan glukosa dapat ditekan ketika suatu glukosa dikonsumsi dengan suatu getah yang merekat (Schneeman, 1998).

Kadar gula dalam darah akan dijaga keseimbangannya oleh hormon insulin yang diproduksi oleh kelenjar sel  $\beta$  pankreas di perut. Mekanisme kerja hormon insulin dalam mengatur keseimbangan kadar gula dalam darah adalah dengan mengubah gugusan gula tunggal menjadi gugusan gula majemuk yang sebagian besar disimpan dalam hati dan sebagian kecil disimpan dalam otak sebagai cadangan pertama (Lanywati, 2006).

Efektifitas rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam menurunkan kadar glukosa darah dipengaruhi oleh kelarutan, kekentalan (viskositas) dan stabilitas pH. Keberadaan garam kalsium dan kalium dalam rumput laut *Gracilaria verrucosa* mengakibatkan serat makanan larut yang terdapat didalam rumput laut sulit larut dalam air dingin. Jika serat larut yang terdapat dalam rumput laut tidak dapat larut maka akan mengurangi efektifitas penurunan glukosa darah. Meskipun tidak mampu larut, agar mempunyai kemampuan untuk mengembang. Sifat mengembang ini dipengaruhi oleh jumlah air yang ditambahkan. Agar akan mengembang optimal jika jumlah air yang ditambahkan cukup untuk diserap agar, tetapi jika air yang ditambahkan terlalu banyak, maka sifat mengembang ini akan menjadi encer begitu pula sebaliknya. Sifat mengembang ini berkaitan erat dengan viskositas. Viskositas agar berbanding lurus dengan kemampuan untuk menurunkan kadar glukosa dalam darah. Hal inilah yang mengakibatkan tingkat efektifitas rumput laut dalam bentuk larutan lebih rendah dibandingkan dengan rumput laut dalam bentuk gel.

Efektifitas gel dan larutan juga dipengaruhi oleh pH. pH agar yang cenderung bersifat basa akan berada dalam kondisi kurang stabil selama proses pencernaan karena pH saluran pencernaan bersifat asam. Kurang stabilnya larutan agar mengakibatkan terjadinya hidrolisis polimer agar yang mengakibatkan penurunan kekentalan dan kemampuan membentuk gel. Hal ini mengurangi efektifitas kerja larutan agar dalam penurunan kadar glukosa darah. Berbeda dengan gel agar yang mempunyai pH rendah (3,5-4,5). Muchtadi (2001) menyatakan bahwa bahan makanan yang telah melalui proses pemasakan memiliki kandungan serat makanan total yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan makanan yang tanpa melalui proses pemasakan.

Menurut Joseph (2002), peran utama serat dalam makanan adalah kemampuannya dalam mengikat air, selulosa dan pektin. Dengan adanya serat akan membantu mempercepat sisa-sisa makanan melalui saluran pencernaan untuk diekskresikan keluar. Tanpa bantuan serat, feses dengan kandungan air rendah akan lebih lama tinggal dalam saluran usus dan mengalami kesukaran melalui usus untuk dapat diekskresikan keluar karena gerakan-gerakan peristaltik usus besar menjadi lebih lamban.



Gambar 21. Grafik regresi penurunan kadar glukosa darah

Berdasarkan Gambar 21, penurunan kadar gula darah tikus terjadi dari hari ke-0 hingga hari ke-18. Penurunan kadar gula darah tikus dapat dihitung dari persamaan regresi yang akan diketahui *slope*-nya dan dapat di tentukan pada hari ke berapa kadar gula dalam darah tikus akan kembali normal.

Nilai *slope* hasil regresi untuk tikus perlakuan kontrol (-) adalah -0,20, menunjukkan bahwa setiap hari gula darah tikus kontrol (-) mengalami penurunan 0,20 mg/dl, pada perlakuan kontrol (-) ini kadar gula darah akan kembali normal pada hari ke 494,13. Nilai *slope* hasil regresi untuk tikus perlakuan kontrol (+) adalah -5.30, menunjukkan bahwa setiap hari kadar gula darah tikus kontrol (+) mengalami penurunan 5,30 mg/dl, pada perlakuan kontrol (+) ini kadar gula darah akan kembali normal pada hari ke 18,55. Nilai *slope* perlakuan penambahan rumput laut bentuk gel pada konsentrasi 5,0 % adalah -4,07, menunjukkan bahwa setiap hari kadar gula darah tikus berkurang 4,7 mg/dl, maka gula darah tikus akan normal hari ke-25,35. *Slope* perlakuan penambahan rumput laut bentuk gel pada konsentrasi 7,5 % adalah -4,37, menunjukkan bahwa setiap hari kadar gula darah tikus berkurang 4,37 mg/dl, maka gula darah tikus akan normal hari ke-23,31. Nilai *slope* perlakuan penambahan rumput laut bentuk gel pada konsentrasi 10,0 % adalah -4,87, menunjukkan bahwa setiap hari kadar gula darah tikus berkurang 4,87 mg/dl, maka gula darah tikus akan normal hari ke-20,15. Nilai *slope* perlakuan penambahan rumput laut bentuk larutan pada konsentrasi 5,0 % adalah -3,86, menunjukkan bahwa setiap hari kadar gula darah tikus berkurang 3,86 mg/dl, maka gula darah tikus akan normal hari ke-26,07. Nilai *slope* perlakuan penambahan rumput laut bentuk larutan pada konsentrasi 7,5 % adalah -4,23, menunjukkan bahwa setiap hari kadar gula darah tikus berkurang 4,23 mg/dl, maka gula darah tikus akan normal hari ke-24,72. Nilai *slope* perlakuan penambahan rumput laut bentuk larutan pada konsentrasi

10,0 % adalah -4,00, menunjukkan bahwa setiap hari maka gula darah tikus berkurang 4,00 mg/dl, maka gula darah tikus akan normal hari ke-25,74.

Sepanjang proses pencernaan dan penyerapan, enzim dan substrat saling berhubungan dan hasil akhir pencernaan disebarkan kepada permukaan mucosal untuk penyerapan dan hidrolisis akhir. Serat makanan, dalam kaitan dengan efek penambahannya, bisa melemahkan enzim dan bisa diserap di dalam saluran usus. Perbedaan komponen serat makanan berpengaruh khusus dan spesifik terhadap morfologi jejunum *disakaridase*. Penambahan unsur *mucilaginous* seperti *pektin* dan *galactomannins* di dalam diet telah diteliti dapat mempengaruhi ukuran *disaccharidase* jejunum tikus. Hal tersebut dapat disimpulkan karena bentuk gel dan kemampuan penyerapan serat makanan dapat berbanding terbalik dengan empedu dan pengeluaran pankreas. *Guar gum* menurunkan aktivitas *laktase* dan alkali *phospatase* secara signifikan, yang mungkin berkaitan dengan penundaan pengosongan lambung dan efek langsung atas interaksi enzim pencernaan dan substrat di dalam usus (Khokhar, 1994).

Agar mampu membantuk gel dengan tipe jaringan polimer. Bentuk jaringan tiga dimensi mengambil alih tempat melalui pengumpulan molekul fibrous dengan sendirinya yang berasal dari struktur yang sebagian yaitu *double helix*. Gel yang terdiri dari molekul fibrous ini mengandung pori-pori yang lebih banyak dari pada bentuk larutan sehingga mempunyai kemampuan untuk menyerap lebih banyak komponen gizi yang terdapat dalam saluran pencernaan (Syukri, 2005). Sehingga berpengaruh juga terhadap kemampuan dalam menurunkan kadar glukosa dalam darah.

### 4.3.5 Kadar Glukosa Urin

Kadar glukosa urin diamati setiap 3 hari sekali, yaitu dengan mengambil sampel urin tikus kemudian mengujinya dengan menggunakan *uriscan*. *Uriscan* merupakan kertas yang pada bagian bawahnya terdapat kertas indikator yang berwarna. Dari warna yang dihasilkan pada kertas *uriscan* dapat diketahui kadar glukosa urin pada tikus perlakuan. Cara mendapatkan sampel urin yaitu dengan mengejutkan tikus. Data kadar glukosa urin dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil uji kadar glukosa urin

Perlakuan		Tikus	Lama pengamatan (Hari Ke-)						
			0	3	6	9	12	15	18
Kontrol	0,0 % (+)	1	++	+	+	+	+	±	-
		2	++	+	+	+	+	±	-
		3	++	+	+	+	+	±	-
	0,0 % (-)	1	++	++	++	++	++	++	++
		2	++	++	++	++	++	++	++
		3	++	++	++	++	++	++	++
Gel	5,0 %	1	++	+	+	+	+	+	±
		2	++	+	+	+	+	+	±
		3	++	+	+	+	+	+	±
	7,5 %	1	++	+	+	+	+	±	-
		2	++	+	+	+	+	±	-
		3	++	+	+	+	+	±	-
	10,0 %	1	++	+	+	+	+	±	-
		2	++	+	+	+	+	±	-
		3	++	+	+	+	+	±	-
Larutan	5,0 %	1	++	+	+	+	+	+	±
		2	++	+	+	+	+	+	±
		3	++	+	+	+	+	+	±
	7,5 %	1	++	+	+	+	+	+	±
		2	++	+	+	+	+	+	±
		3	++	+	+	+	+	+	±
	10,0 %	1	++	+	+	+	+	±	-
		2	++	+	+	+	+	±	-
		3	++	+	+	+	+	±	-

Keterangan : Kadar Glukosa Urin (mg/100 ml)

- = Normal      ± = 100      + = 250  
 ++ = 500      +++ = 1000      ++++ = 2000 ≥

Dari Tabel diatas dapat diketahui bahwa kadar glukosa darah semua tikus perlakuan pada hari ke-0 menunjukkan tikus telah dalam kondisi *hyperglukemia* ditandai dengan nilai kadar glukosa urin yang cukup tinggi yaitu berkisar 500 mg/100 ml. Kadar glukosa urin secara keseluruhan mulai menurun pada hari ke-3 sampai 12 dengan nilai kadar glukosa urin berkisar 250 mg/100 ml kecuali pada tikus kontrol (-). Pada hari ke-15 tikus perlakuan kontrol (+), gel 10,0 % dan larutan 10,0 % sudah menunjukkan kadar glukosa urin senilai 100 mg/100ml, sedangkan pada gel 5,0 %, gel 7,5%, larutan 5,0 %, larutan 7,5% kadar glukosa urinnnya masih berkisar 250 mg/100 ml. Pada akhir penelitian (hari ke-18), tikus kontrol (+), gel 7,5 %, gel 10,0 %, dan larutan 10,0 % menunjukkan nilai kadar glukosa urin (-) yang berarti kadar glukosa urinnnya sudah normal. Pada gel 5,0 %, larutan 5,0 %, larutan 7,5 %, kadar glukosa urin bernilai sampai pada nilai 100 mg/100ml. Pada kontrol (-) nilai kadar glukosa urin dari awal sampai akhir penelitian tetap tidak berubah berkisar pada nilai 500 mg/100 ml.

Pada penderita diabetes mempunyai banyak glukosa didalam darah dan air seninya, tetapi tidak cukup banyak didalam sel-selnya. Karena penimbunan glukosa dalam darah terus berlangsung maka pabrik pembersih (ginjal) harus bekerja melampaui batas untuk mengeluarkannya. Gula melimpah ke dalam air seni dan ada kemungkinan terjadi kerusakan ginjal bila terjadi secara terus menerus (Diehl, 1990).

#### 4.4 Histopatologi Pankreas

Pada penelitian ini dilakukan analisis histopatologi terhadap pankreas tikus percobaan sebagai data pendukung. Analisis histopatologi pankreas dilakukan dengan cara mengambil pankreas tikus saat sebelum injeksi *alloxan* (kadar glukosa normal), hari



ke-9 setelah injeksi *alloxan* (*hyperglukemia*), dan hari ke-18 setelah injeksi *alloxan* (kadar glukosa normal).

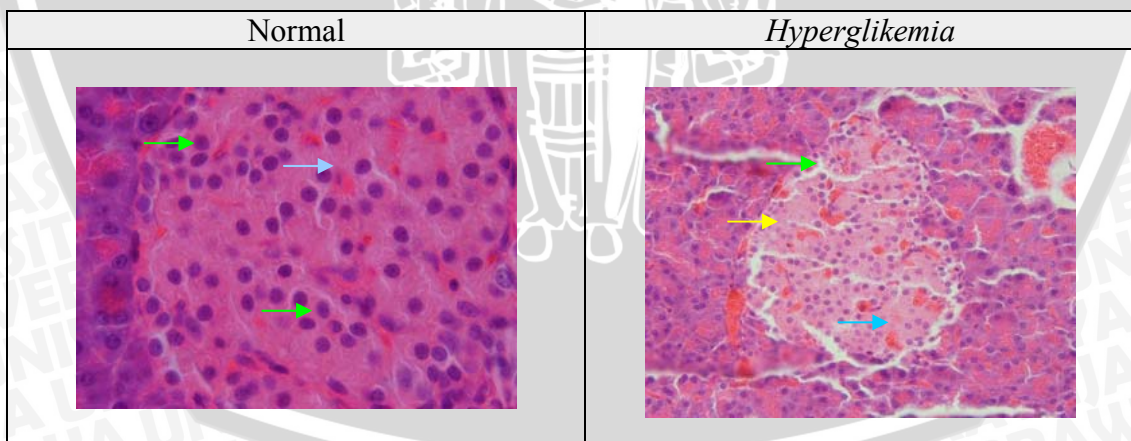
Tujuan analisis histopatologi pankreas sebelum injeksi *alloxan* adalah sebagai informasi awal mengenai kondisi pankreas tikus dengan kadar glukosa normal. Tujuan analisis histopatologi pankreas pada hari ke-9 setelah injeksi *alloxan* adalah untuk mengetahui kondisi pankreas tikus dalam kondisi *hyperglukemia*. Tujuan analisis histopatologi pankreas pada hari ke-18 setelah injeksi *alloxan* adalah untuk mengetahui pengaruh rumput laut dalam memperbaiki sel  $\beta$  pankreas. Injeksi *alloxan* akan menimbulkan nekrosis pada sel  $\beta$  pankreas berupa inti sel mengalami *piknosis*, *karioreksis*, dan *kariolisis*. Menurut Newman (2002), *Piknosis* merupakan penebalan / pemadatan khususnya degenerasi sebuah sel yang ukuran inti sel mengecil dan kromatin mengalami kondensasi menjadi masa yang padat serta tidak berbentuk, *karioreksis* adalah pecahnya inti sel menyebabkan kromatin (bagian inti sel yang lebih mudah terwarnai) hancur menjadi granul-granul yang tidak berbentuk yang dikeluarkan dari dalam sel, sedangkan *kariolisis* merupakan suatu bentuk *nekrobiosis* yang inti selnya membengkak dan selanjutnya kehilangan kromatinnya.

Pankreas terdiri atas organ-organ yang sangat berbeda tetapi terdapat di dalam satu bangunan. Bagian asiner pankreas (asinus) mempunyai fungsi eksokrin yaitu mensekresi enzim dan ion-ion yang digunakan untuk proses pencernaan ke dalam duodenum. Bagian endokrin terdiri atas pulau Langerhans. Satu hingga dua juta pulau Langerhans dalam pankreas manusia mampu membentuk 1-2 % dari berat pankreas dan merupakan kumpulan berbagai tipe sel seperti sel  $\alpha$  dengan kelimpahan 25 %, sel  $\beta$  dengan kelimpahan 70 % dan sel  $\delta$  dengan kelimpahan < 5 % (Murray, *et al.*, 1999)

Asinus dan alveolus berbentuk tubular, tumbuh berkelompok membentuk bangunan yang tidak teratur sehingga pada tiap-tiap potongan akan terpotong dalam segala bidang (Leeson, *et al.*, 1989). Asinus berwarna terang dan mengelilingi pulau Langerhans (Bloom and Don, 1965).

Pulau Langerhans tersebar di seluruh pankreas dan tampak sebagai massa bundar yang tidak jelas, tidak teratur, terdiri atas sel-sel pucat dengan banyak pembuluh darah. Dengan cara pewarnaan khusus terlihat tiga jenis sel yaitu sel A (sel  $\alpha$ ), sel B (sel  $\beta$ ), dan sel D (sel  $\delta$ ). Semua sel dalam pulau Langerhans berbentuk polygonal tak teratur, dengan menggunakan mikroskop elektron perbedaan terletak dalam hal granula pada sitoplasma. Di dalam pulau Langerhans jumlah granula sel  $\beta$  umumnya lebih banyak terletak di tengah sedangkan sel  $\alpha$  dan sel  $\delta$  jumlahnya lebih sedikit dan terletak di perifer (Leeson, *et al.*, 1989).

Berikut adalah gambar penampang pulau langerhans normal dan *hyperglikemia* serta penjelasannya.

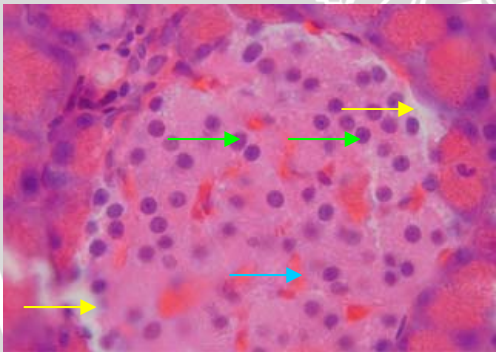
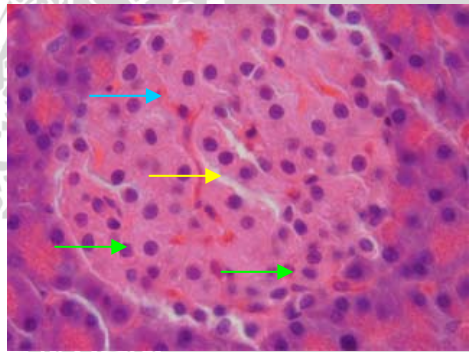


Ciri-ciri yang dapat terlihat dari penampang hispatologi langerhans normal yaitu adanya bulatan-bulatan berwarna ungu yang menyebar dalam langerhans. Bulatan-bulatan tersebut merupakan sel beta ( $\rightarrow$ ). Didalam sel beta terdapat granula atau partikel-partikel kecil. Gelapnya warna ungu dari sel beta menunjukkan bahwa granula dalam sel beta berjumlah banyak. Sel beta dan granula didalamnya berpengaruh pada produksi insulin. Garis merah yang ada pada gambar menunjukkan adanya kapiler darah ( $\rightarrow$ ) yang berada diantara sel-sel dalam langerhans.

Sedangkan ciri-ciri penampang hispatologi langerhans *hyperglukemia* menunjukkan terjadinya nekrosis (→) yaitu jaringan yang mati pada organisme hidup yang ditunjukkan dengan adanya garis-garis putih pada gambar. Nekrosis menyebabkan rongga pada langerhans sehingga mengakibatkan berkurangnya jumlah sel beta pankreas. Sel beta pankreas (→) dalam gambar berupa bulatan-bulatan berwarna ungu yang didalamnya terdapat granula atau bintik-bintik kecil. Warna sel beta yang lebih pucat menunjukkan jumlah granula dalam sel beta berkurang atau lebih sedikit dibandingkan dengan granula sel beta pankreas normal. Kapiler darah (→) tetap berada dalam sel langerhans meskipun langerhans mengalami kerusakan.

Gambar 22. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus normal dan *hyperglukemia*. Perbesaran 400 X.

Gambar 23 berikut ini menunjukkan gambar perbedaan penampang pulau langerhans tikus pada perlakuan kontrol (-)

Penampang langerhans perlakuan kontrol (-) hari ke- 9	Penampang langerhans perlakuan kontrol (-) hari ke- 18
	
<p>Pada penampang langerhans perlakuan kontrol – hari ke-9 terlihat bahwa nekrosis (→) terjadi disebagian sel. Nekrosis ditunjukkan dengan warna putih pada gambar. Sel beta pankreas (→) terlihat berjumlah lebih sedikit kemungkinan diakibatkan oleh adanya nekrosis yang menyebabkan rongga pada sel sehingga mempengaruhi jumlah sel beta. Jumlah granula yang berada didalam sel juga menunjukkan jumlah yang sedikit dapat terlihat dari warna sel beta yang lebih pucat.</p> <p>Pada hari ke-18 penampang langerhans tidak menunjukkan perbaikan yang berarti. Terlihat dari nekrosis yang ditunjukkan dengan adanya garis-garis putih pada penampang yang masih berada di dalam langerhans. Meskipun demikian jumlah sel beta terlihat lebih banyak dan berwarna lebih gelap menunjukkan jumlah granula dalam sel beta bertambah. Adanya sel beta dan granula dalam sel beta berpengaruh terhadap produksi insulin. Garis-garis merah pada gambar menunjukkan kapiler darah (→) yang masih tetap berada diantara sel dalam</p>	

langerhans baik pada gambar penampang langerhans hari ke-9 maupun hari ke-18.

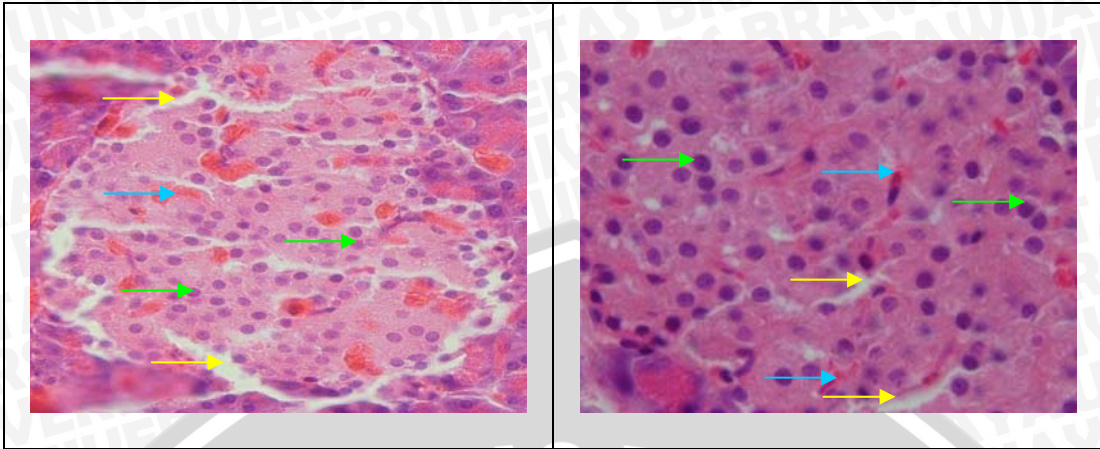
Gambar 23. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus hari ke-9 dan 18 perlakuan kontrol (-)

Pada perlakuan 0,0 % (-), terlihat bahwa sel  $\beta$  pankreas masih dalam kondisi diabetik yang ditandai dengan adanya nekrosis serius pada sel  $\beta$  pankreas (lihat Gambar 23). Nekrosis merupakan jaringan atau sel yang mati pada organisme hidup. Pada hispatologi langerhans pengamatan hari ke 18 terlihat granula disitoplasma sel  $\beta$  pankreas sedikit menandakan kondisi sel  $\beta$  pankreas masih dalam kondisi diabetik ditandai dengan lebih pucatnya warna ungu pada sel beta. Jumlah granula yang sedikit tersebut berpengaruh terhadap produksi insulin. Bila insulin yang disekresikan dari granula sel  $\beta$  tidak memadai maka akan terjadi katabolisme seperti meningkatnya *glukoneogenesis* dan *glikogenesis* sehingga menimbulkan hiperglisemia. Ini membuktikan bahwa serat CMC pada ransum standar belum dapat merangsang perbaikan sel  $\beta$  pankreas yang rusak akibat induksi *alloxan*.

Untuk analisis histopatologi kelompok tikus dengan perlakuan kontrol (+) pada hari ke 10 menunjukkan adanya kondisi nekrosis pada sel  $\beta$  pankreas. Namun, pengamatan pada hari ke 18 menunjukkan adanya granula pada sel  $\beta$  pankreas dengan jumlah yang cukup banyak. Banyaknya granula yang terbentuk dalam sitoplasma akan meningkatkan aktivitas insulinase sehingga produksi insulin juga akan meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya pemberian obat antidiabetik glibenklamid secara oral dapat memperbaiki kerusakan sel  $\beta$  pankreas yang rusak akibat injeksi *alloxan*.

Hari ke- 9

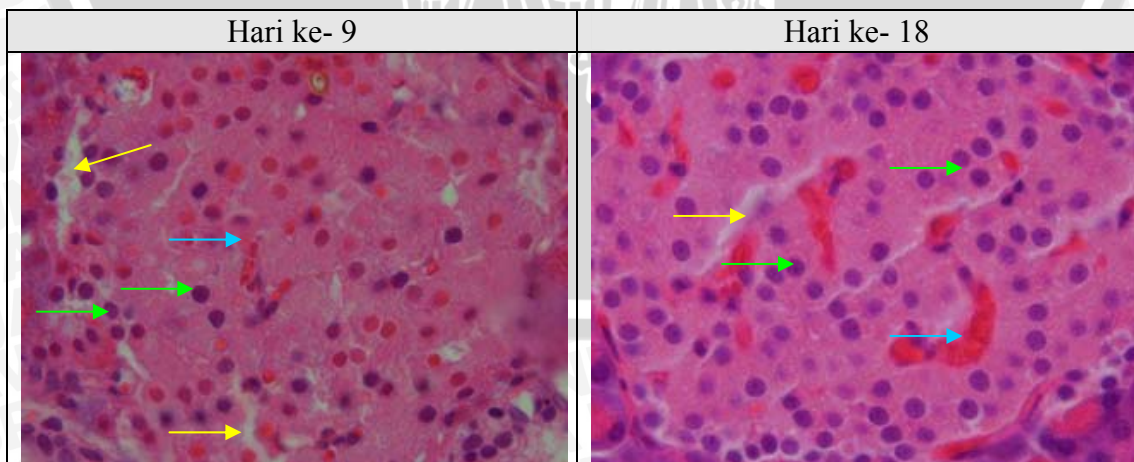
Hari ke- 18



Penampang hispatologi langerhans perlakuan larutan 5,0% pada hari ke-9 menunjukkan terjadinya nekrosis serius pada sebagian sel. Nekrosis (→) dalam gambar ditunjukkan dengan adanya garis-garis putih dalam langerhans. Nekrosis juga menyebabkan jumlah sel beta berkurang karena nekrosis menyebabkan pembentukan rongga pada sel. Sel beta (→) dalam gambar ditunjukkan dengan bulatan-bulatan berwarna ungu. Didalam sel beta terdapat granula atau partikel-partikel kecil. Warna sel beta yang pucat menunjukkan jumlah granula dalam sel beta lebih sedikit.

Hasil penampang pada hari ke-18 menunjukkan nekrosis yang terjadi berangsur-angsur membaik. terlihat pada gambar garis-garis putih yang menunjukkan nekrosis telah berkurang. Sel beta pankreas yang berupa bulatan-bulatan berwarna ungu terlihat berjumlah lebih banyak dan berwarna lebih gelap menandakan jumlah granula didalamnya juga banyak. Sel beta dan granula didalamnya berpengaruh pada pembentukan insulin. Kapiler darah (→) yang ditunjukkan dengan warna merah pada gambar terlihat berada disekitar sel baik pada penampang langerhans pada hari ke-9 maupun hari ke-18.

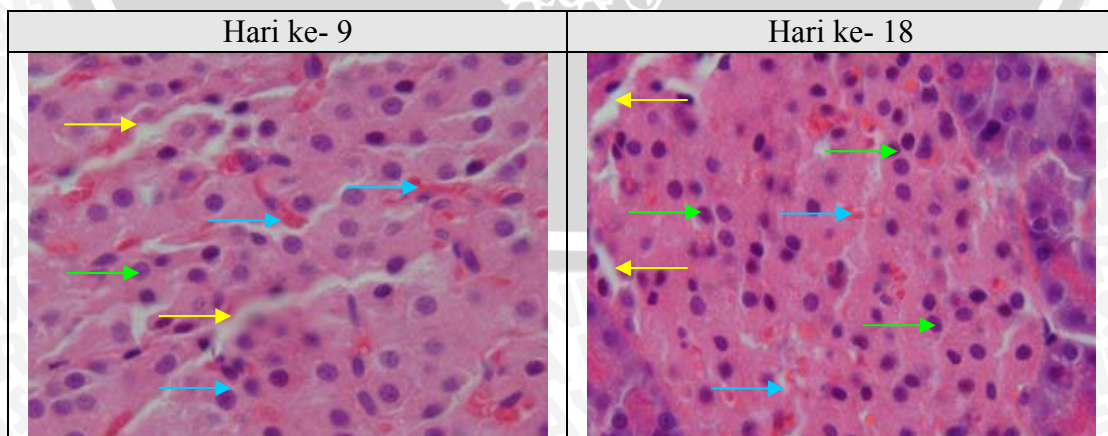
Gambar 23. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan pemberian larutan 5,0 % (perbesaran 1000 X)



Pada penampang langerhans perlakuan larutan 7,5% pada hari ke-9 menunjukkan adanya nekrosis pada sel. Nekrosis (→) pada gambar ditunjukkan dengan adanya garis-garis putih. Meskipun terlihat sedikit tetapi nekrosis menyebabkan jumlah sel beta juga sedikit. Sel beta (→) ditunjukkan dengan bulatan-bulatan berwarna ungu, sedangkan granula atau partikel-partikel kecil berada didalam sel beta. Warna gelap pada sel beta menunjukkan jumlah granula dalam sel beta banyak tetapi pada gambar tersebut jumlah sel betanya terlihat sedikit. Pada perlakuan larutan 7,5% hari ke-18 menunjukkan masih adanya nekrosis walaupun hanya sedikit. Tetapi jumlah sel beta lebih banyak yang ditunjukkan dengan banyaknya bulatan-bulatan berwarna ungu pada gambar. Jumlah granula dalam sel beta juga menunjukkan jumlah yang lebih banyak ditunjukkan dengan makin gelapnya warna pada sel beta. Kapiler darah yang ditunjukkan dengan warna merah tetap berada disekitar sel langerhans.

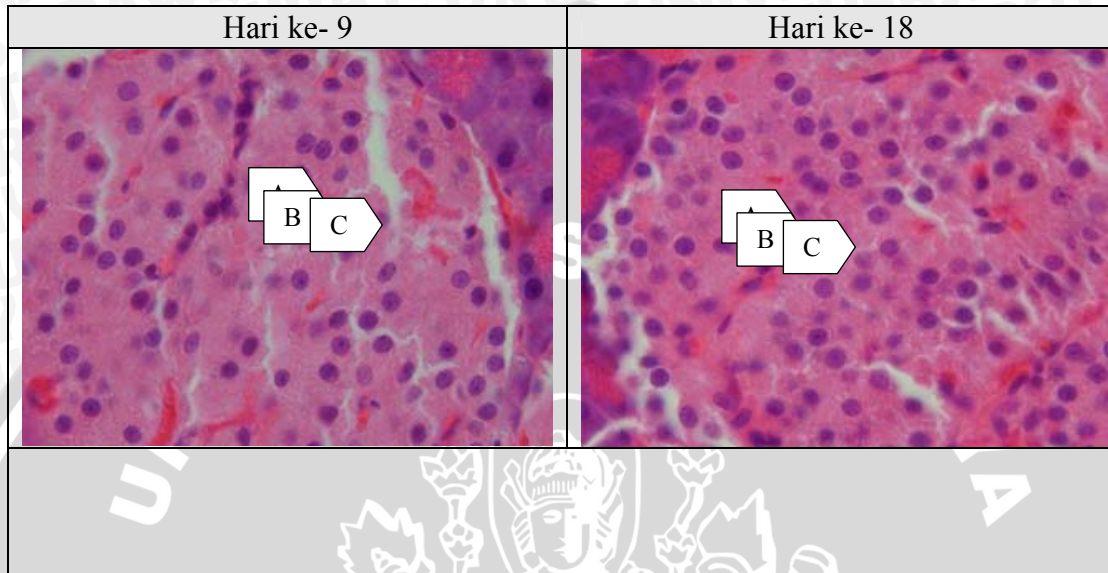
Gambar 23. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan pemberian larutan 7,5 % (perbesaran 1000 X)

Analisis histopatologi pada perlakuan pemberian tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk gel dengan konsentrasi 5,0 %, 7,5 %, dan 10,0 % pada hari ke-9 menunjukkan hasil yang hampir sama (Gambar 26 A, 27 A, 28 A). Sel  $\beta$  pankreas mengalami nekrosis tetapi tidak separah yang dialami oleh tikus pada perlakuan kontrol (-). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk gel dengan konsentrasi 5,0 %, 7,5 %, dan 10,0 % pada hari ke-9 sudah dapat memberikan pengaruh terhadap perbaikan jaringan yang rusak pada sel  $\beta$  pankreas akibat injeksi *alloxan*.

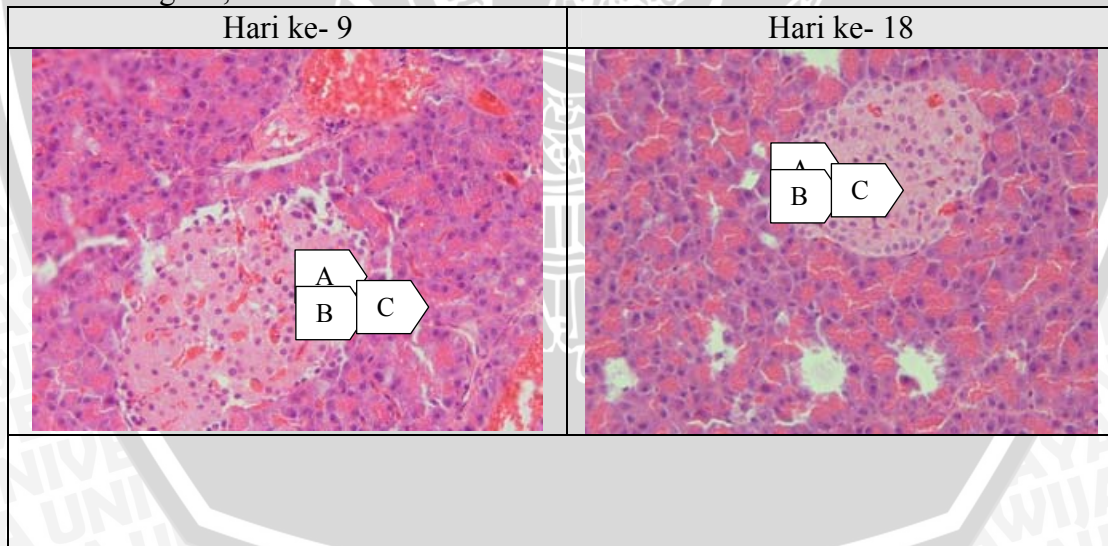


Penampang langerhans perlakuan larutan 10,0% pada hari ke-9 menunjukkan terjadinya nekrosis di sebagian sel yang ditunjukkan adanya garis-garis putih yang menyebar diantara sel. Nekrosis menyebabkan

Gambar 23. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan pemberian larutan 10,0 %



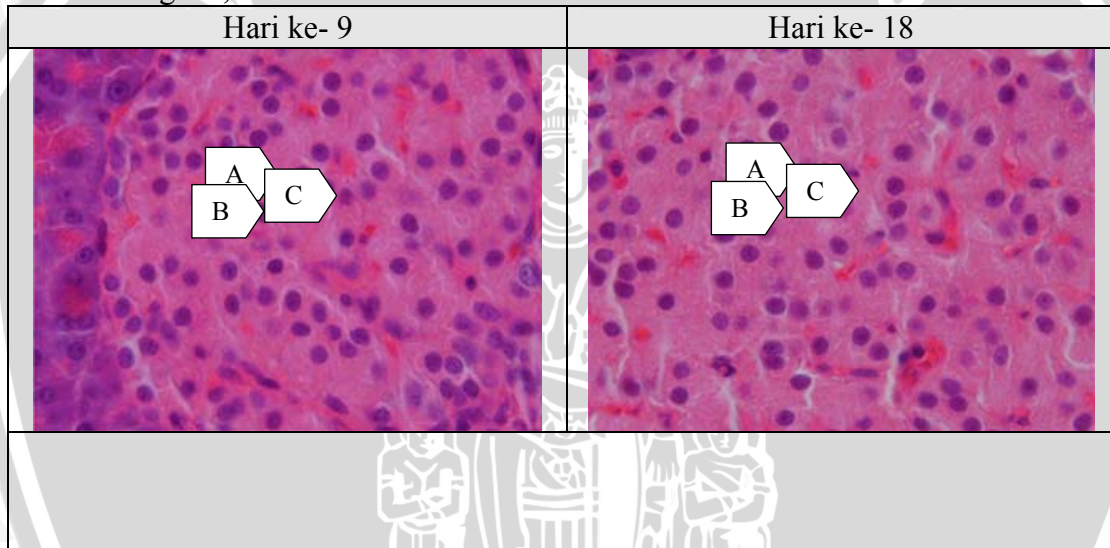
Gambar 23. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan pemberian gel 5,0 %



Pada Gambar 26 B, 27 B, 28 B adalah gambar histopatologi pulau Langerhans tikus perlakuan gel 5,0 %, 7,5 %, 10,0 % pada hari ke-18. pulau Langerhans secara

keseluruhan terlihat membaik. Jumlah granula yang ada cukup banyak di sitoplasma sel  $\beta$  pankreas yang berpengaruh pada produksi dan aktivitas insulin selaku hormon anabolik yang mencegah terjadinya hiperglisemia. Terlihat juga adanya perluasan wilayah sel  $\beta$  yang merupakan indikator dari perbaikan sel  $\beta$ . Sesuai dengan pernyataan Wikanta, *et al.*, (2002), bahwa makanan berserat akan dapat mengatasi dan memperbaiki kondisi defisiensi insulin sehingga dianggap sebagai unsur perbaikan.

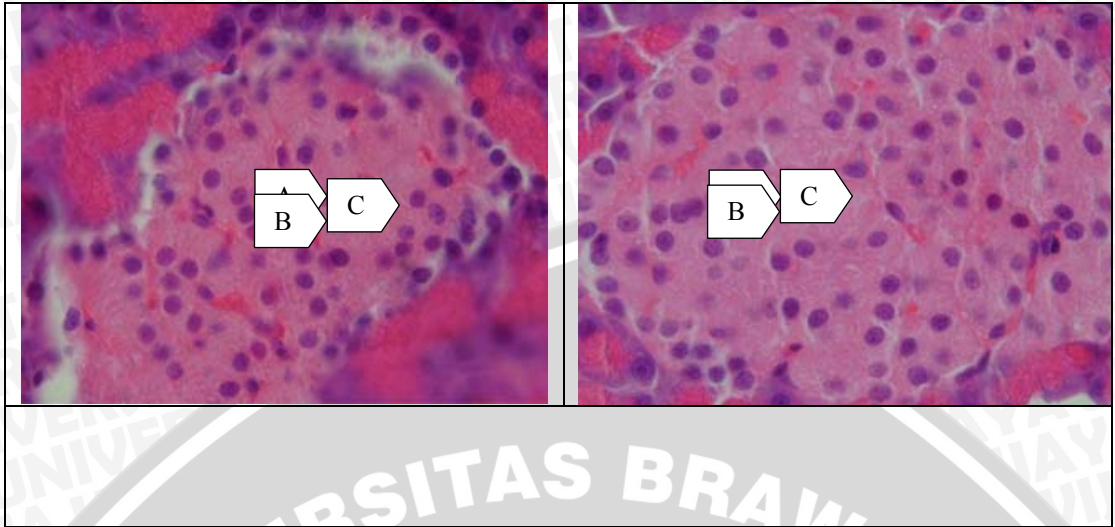
Gambar 23. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan pemberian gel 7,5 %



Gambar 23. Perbedaan penampang pulau Langerhans tikus dengan perlakuan pemberian gel 10,0 %







Analisis histopatologi pada perlakuan pemberian tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk larutan dengan konsentrasi 5,0 %, 7,5 %, dan 10,0 % pada hari ke-9 menunjukkan hasil yang hampir sama (Gambar 29 A, 30 A, 31 A). Sel  $\beta$  pankreas mengalami nekrosis tetapi tidak separah yang dialami oleh tikus pada perlakuan kontrol -. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian larutan rumput laut *Gracilaria verrucosa* konsentrasi 5,0 %, 7,5 %, 10,0 % pada hari ke-9 sudah dapat memberikan pengaruh terhadap perbaikan jaringan yang rusak pad sel  $\beta$  pankreas akibat injeksi *alloxan*.

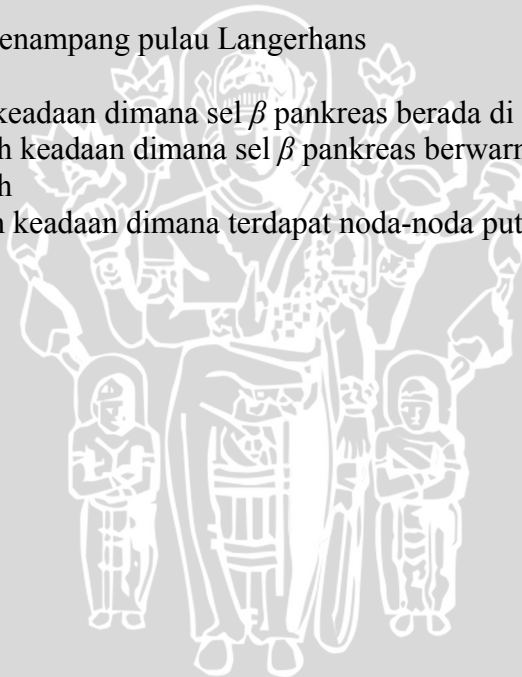


Analisis histopatologi pankreas pada tikus dengan perlakuan pemberian tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk larutan dengan konsentrasi 5,0 %, 7,5 % dan 10,0 % pada hari ke-18 ( 29 B, 30 B, 31 B) menunjukkan jumlah granula yang lebih banyak dibandingkan pada hari ke-9. Menurut Zuheid, *et al.*, (2003), jumlah granula yang cukup banyak di sitoplasma sel  $\beta$  pankreas tersebut berpengaruh pada produksi dan aktivitas insulin selaku hormon anabolik sehingga *hyperglukemia* dapat terkendali dan akhirnya terjadi penurunan glukosa darah.

Gambar 23. Perbedaan penampang pulau Langerhans

Keterangan gambar :

1. Nekrosis adalah keadaan dimana sel  $\beta$  pankreas berada di luar pulau Langerhans
2. Bergranula adalah keadaan dimana sel  $\beta$  pankreas berwarna gelap dan terdapat bintik-bintik putih
3. Berrongga adalah keadaan dimana terdapat noda-noda putih di vakuola sel  $\beta$  pankreas



## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa interaksi antara bentuk, konsentrasi, dan lama konsumsi rumput laut *Gracilaria verrucosa* dapat menurunkan kadar glukosa darah tikus putih wistar (*Rattus norvegicus*). Pada penambahan rumput laut dalam bentuk gel memberikan pengaruh yang lebih baik dibandingkan penambahan rumput laut bentuk larutan dalam menurunkan kadar glukosa darah. Semakin tinggi konsentrasi rumput laut yang diberikan maka penurunan kadar glukosa darah akan semakin cepat. Secara keseluruhan, untuk tikus dengan perlakuan penambahan rumput laut dalam bentuk gel pada konsentrasi 10 % memberikan penurunan kadar glukosa darah paling cepat. Untuk tikus dengan perlakuan gel 10 % mengalami penurunan dari 198,21 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 96,20 mg/dl pada hari ke 18. Namun, pengaruh obat anti diabetik *glibenklamid* menunjukkan pengaruh yang lebih baik. Untuk tikus dengan perlakuan pemberian obat anti diabetik *glibenklamid* mengalami penurunan dari 198,39 mg/dl pada hari ke 0 menjadi 93,70 mg/dl pada hari ke 18.

Hasil dari analisis histopatologi pankreas menunjukkan adanya perbaikan sel  $\beta$  pankreas yang rusak setelah injeksi *alloxan* secara bertahap. Pemberian rumput laut *Gracilaria verrucosa* menyebabkan kondisi sel  $\beta$  pankreas membaik.

### 5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai pengaruh rumput laut *Gracilaria verrucosa* dalam bentuk garam (K, Na dan Ca) terhadap kadar glukosa darah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, E. W. 2004. *Pengaruh Pemberian Rumput Laut Gracilaria verrucosa Bentuk Larutan dan Gel Secara Parenteral Terhadap Kadar Lipid Darah Tikus Wistar (Rattus norvegicus)*. Laporan Skripsi. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang. Tidak diterbitkan. Hal 60.
- Anggadiredja, J. T., A. Zatznika, H. Purwoto, dan S. Istini. 2006. *Rumput Laut Pembudidayaan, Pengolahan dan Pemasaran Komoditas Perikanan Potensial*. Jakarta. 146 Hal
- Angka, S. L dan M. T Suhartono. 2000. *Bioteknologi Hasil Laut*. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hal 59
- Anonymous. 2003<sup>a</sup>. *Penuntun Praktikum dan Modul Biokimia PSIK II*. Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Press. Malang. Hal 3-4.
- \_\_\_\_\_. 2003<sup>b</sup>. *Peran Diet Dalam Penanggulangan Diabetes*. Seminar Pekan Diabetes Tanggal 25 – 27 Maret 2003 di Depkes RI. Jakarta. 5 Hal
- \_\_\_\_\_. 2004. *Agar-Agar Pencegah Hipertensi dan Diabetes*. <http://www.kompas.com>. Hal 1-3
- \_\_\_\_\_. 2006<sup>a</sup>. *Sehat dengan Serat*. <http://nusaindah.tripod.com/sehatdenganserat.htm>. Diakses tanggal 20 Maret 2007.
- \_\_\_\_\_. 2006<sup>b</sup>. *Mempersingkat Masa Parkir*. <http://www.intisari-online.com/majalah.asp?tahun=2006&edisi=521&file=warna0203&page=03>. Diakses tanggal 20 Maret 2007.
- \_\_\_\_\_. 2006<sup>c</sup>. *Hidrokoloid dan Gum*. <http://www.ebookpangan.com/ARTIKEL/Hidrokoloid%20dan%20gum.pdf>. Diakses tanggal 20 Maret 2006.
- \_\_\_\_\_. 2006<sup>d</sup>. *Serat Kasar*. <http://www.thpfaperik.brawijaya.ac.id/pdf-kuliah/serat-kasar.pdf>. Diakses tanggal 20 Maret 2006.
- \_\_\_\_\_. 2007<sup>a</sup>. *Apakah Serat Makanan?*. <http://www.vegeta.co.id/id/kontak/faq.html>. Diakses tanggal 20 Maret 2007.
- \_\_\_\_\_. 2007<sup>b</sup>. *Teknologi Pengolahan Bahan Pangan Ekstraksi Karaginan*. <http://www.google.co.id/search?hl=id&q=ekstraksi+tepung+agar-agar>. Diakses tanggal 2 April 2007.

- \_\_\_\_\_. 2007<sup>c</sup>. *Diabetes Melitus*. 2007c. <http://nusaindah.tripod.com/kesdiabetesmelitus.htm>. Diakses tanggal 17 Maret 2007.
- \_\_\_\_\_. 2007<sup>d</sup>. *Fungsi Serat Makanan Dalam Agar-Agar Bagi Kesehatan*. *Harian Kompas*, 16 Agustus 2007. Hal 10.
- \_\_\_\_\_. 2007<sup>e</sup>. *Melihat Manfaat Serat*, *Harian Kompas*, 5 September 2007. Hal 18.
- \_\_\_\_\_. 2007<sup>f</sup>. *Menjalankan Puasa Dengan Makanan Sarat Serat*. *Harian Kompas*, 5 September 2007. Hal 18.
- Apriyantono, A., D. Fardiaz, N. L. Pusitasari, Sedarnawati dan S. Budiyanto. 1989. *Petunjuk Laboratorium Analisis Pangan*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 229 Hal.
- Astawan, M. 2004. *Agar-agar Pencegah Hipertensi dan Diabetes*. <http://www.kompas.co.id/kesehatan/news/0405/30/084212.htm>. Diakses tanggal 14 Juni 2006.
- Aslan, L. M. 1991. *Budidaya Rumput Laut*. Kanisius. Yogyakarta. 97 Hal.
- Bloom, W and Don W.F. 1965. *Textbook of Histology*. WB Saunders Company. Philadelphia. Hal 490-501
- Diehl, H. 1990. *Waspada! Diabetes, Kolesterol, Hipertensi*. Penerjemah: Winarni Budiarti. Indonesia Publishing House. Bandung. Hal 65-77.
- Fardiaz, D. 1989. *Hidrokoloid*. PAU, Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor Press. Bogor. 94 Hal.
- Firdaus, M. dan Gimam. 2005. *Struktur Kimia, Sifat Fisikokimia dan Efek Fisiologis Serat Pangan dari Rumput Laut*. *Jurnal Perikanan* Volume I No.2. Hal 80-83.
- Ganong, W. F. 1981. *Fisiologi Kedokteran. Edisi 10*. Penerbit Buku Kedokteran. Jakarta.
- Gsianturi. 2002. *Konsultasi Gizi : Minuman Serat Instan*. <http://www.kompas.com/kesehatan/news/0206/27/004845.htm>. diakses tanggal 25 Mei 2007. 2 Hal.
- \_\_\_\_\_. 2003. *Tentang Serat Makanan*. <http://www.kompas.co.id/kesehatan/news/0306/12/100654.htm>. Diakses tanggal 20 Maret 2007.

- Guyton, A. C. 1983. *Buku Teks Fisiologi Kedokteran Edisi 5* Bagian 2. Diterjemahkan oleh Adji Dharma, P. Lukito. CV. EGC Penerbit Buku Kedokteran. Jakarta. Hal 340-501.
- Haryanto, R. 2005. *Agar-agar, Kaya Serat Penuh Manfaat*. <http://www.pikiran-rakyat.com/cetak/2005/1005/09/hikmah/lainnya02.htm>. 14 Juni 2006 10.25. Diakses tanggal 17 Maret 2007. 3 Hal.
- Istini, S, A. Zatznika dan Suhaimi. 2006. *Manfaat dan Pengolahan Rumput Laut*. BPP Teknologi. Jakarta. Hal 5
- Jimenez-Escrig, A and F.J. Sanchez-Muniz. 2000. *Dietary Fibre From Edible Seaweeds: Chemical Structure, Physicochemical Properties and Effects on Cholesterol Metabolism*. Elsevier Science Inc. USA. 14 Hal
- Joseph, G. 2002. *Manfaat Serat Makanan Bagi Kesehatan Kita*. Makalah falsafah Sains Program Pasca Sarjana/S3. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 8 Hal.
- Khokhar, S. 1994. *Dietary Fibers: Their Effects on Intestinal Digestive Enzyme Activities* Journal Nutrient and Biochemical vol : 5. Department of Foods and Nutrition, Haryana Agricultural University, Hisar, India. 5 Hal
- Lanywati, E. 2006. *Diabetes Mellitus Penyakit Kencing Manis*. Penerbit Kanius. Yogyakarta. 40 Hal.
- Leeson, C.R., T.S Leeson and A.A Paparo. 1989. *Buku Ajar Histologi*. Penerjemah: Staff Ahli Histologi Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta. Hal 372-381.
- Linder, M.C. 1992. *Biokimia Nutrisi dan Metabolisme*. Penerjemah : Aminuddin Perakkasi. Universitas Indonesia Press. Jakarta. Hal 27-57.
- Martha, I. S. 2004. *Pengaruh Konsumsi Rumput Laut Sargassum crasifolium Terhadap Kadar Glukosa Darah Tikus Putih Wistar (Rattus novogicus)*. Skripsi. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang. 91 Hal.
- Murachman, I. Soetrisno dan J. A. Soemardi. 1983. *Cara Analisa Komposisi kimia Daging Ikan dan Hasil Perairan Lainnya*. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang. 40 Hal.
- Newman, D.W.A. 2002. *Kamus Kedokteran Dorland Edisi 29*. Alih bahasa : Huriawati Hartanto dkk. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Noortiningsih. 2006. *Manfaat Serat dalam Makanan*. <http://202.155.15.208/suplemen/cetak/etail.sp?mid>. Diakses tanggal 20 Maret 2007. 2 Hal.

- Olson, R. E, H. P. Broquist, C. O. Chichester, W. J. Darby, A. C. Kolbye and R. M. Stalvey. 1987. *Energi dan Zat-zat Gizi*. PT. Gramedia. Jakarta. . 278 Hal.
- Pilliang, W. G. dan S. Djojosoebagio. 1996. *Fisiologi Nutrisi*. Vol I. Edisi 2. Universitas Indonesia Press. Jakarta. Hal 182-199.
- Pomerans, Y. 1991. *Functional Property of Food Components*. Academic Press Inc. New York
- Ranakusuma, A.B. 1987. *Diabetes Mellitus: Tenang Menghanyutkan*. Universitas Indonesia Press. Jakarta
- Retnaningsih, C. Zuheid, N., dan Y. Marsono. 2003. *Evaluasi Pakan Tinggi Protein kedelai Pada Sel beta pankreas Tikus Diabetes*. Seminar Nasional dan pertemuan tahunan Perhimpunan Ahli Tekhnologi Pangan Indonesia. Yogyakarta. Hal 89-103.
- Risjani, Y. 2004. *Potensi Sumberdaya Rumput Laut di Jawa Timur dari Jenis Ekonomis Penting*. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang. Hal 3, 40, 42.
- Savitri, H. D. L. 2005. *Pengaruh Konsumsi Tepung Karaginan (Eucheuma cottoni) Terhadap Kadar Glukosa darah Tikus Putih Wistar (Rattus novergicus)*. Skripsi. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang. 156 Hal.
- Schneeman, B.O. 1998. *Dietary Fiber And Gastrointestinal Function*. Elsevier Science Inc. USA. 8 Hal.
- Sudarmadji, S., B. Haryono, dan Suhardi. 1997. *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian*. Liberty. Yogyakarta. 111 Hal.
- Sulaeman, A. F, A. Rimbawan, dan Anna, M. 1993. *Metode Analisa Komposisi Zat Gizi Makanan*. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hal 203.
- Suptijah, P. 2002. *Rumput Laut : Prospek dan Tantangannya*. Makalah Pengantar Falsafah Sains Program Pasca Sarjana/S3. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 5 Hal.
- Suriawiria. 2003. *Bahan Baku Industri Bernilai Tinggi*. <http://www.kompas.com> . Hal 1-3
- Susanto, A. 2006. *Apa yang Terdapat dalam Rumput Laut*. [www.rumputlaut.org](http://www.rumputlaut.org). Diakses tanggal 5 mei 2007.
- Suyono. 2001. *Serat, Benteng terhadap Aneka Penyakit*. [http://www.indomedia.com/intisari/2001/Jul/warna\\_serat.htm](http://www.indomedia.com/intisari/2001/Jul/warna_serat.htm). Diakses tanggal 20 Maret 2007. 4 Hal.

- Wang, W. M Onnagawa, Y Yoshi and T Suzuki. 2001. *Binding of Bile Salts to Soluble and Insoluble Dietary Fibers of Seaweeds*. Department of Food Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Minato, Tokyo, Japan. 5 Hal.
- Wardlaw, G. M., J. S. Hampl and R. A. Disilvetro. 2004. *Perspective In Nutrition*. Sixth Edition. Higher Education. Companies. New York. Hal 139-153.
- Widianarko, B. 2000. *Serat dalam Makanan*. Seri Iptek Pangan Volume 1: Teknologi, Produk, Nutrisi & Keamanan Pangan. Jurusan Teknologi Pangan. Unika Soegijapranata. Semarang. 2 Hal.
- Winarno, F. G. 1996. *Teknologi Pengolahan Rumput Laut*. Pustaka Sinar Harapan. Jakarta. 179 Hal.
- \_\_\_\_\_. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. P.T. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 253 Hal.





## LAMPIRAN

Lampiran 1. Komposisi mineral mix dalam 1000 gr

Jenis mineral	Jumlah mineral
NaCl	139,3
KI	0,79
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	389
MgSO <sub>4</sub> anhidrid	57,3
CaCO <sub>3</sub>	381,4
FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	27,0
MnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	4,01
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0,548
CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	0,477
CoCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	0,023

(Sumber : Muchtadi (1989))

Lampiran 2. Komposisi vitamin “Superviton” setiap 2 kaplet

KOMPOSISI	JUMLAH
Vitamin A	5000 IU
Vitamin D	400 IU
Vitamin B1	5.0 mg
Vitamin B2	2.0 mg
Vitamin B6	1.0 mg
Vitamin B12	5.0 mg
Vitamin C	25.0 mg
Niaciaminde	10.0 mg
Choline Bitartrate	3.0 mg
Vitamin H	0.1 mg
Vitamin E	5.0 mg
Vitamin K	2.0 mg
Dx-Calcium Pantothenas	1.0 mg
Inositol	0.5 mg
Folic acid	0.25 mg
dl-Methionine	0.25 mg
Glutamic Acid	5.0 mg
Molybdenum	0.25 mg
I-Lysine Monohydrochoride	0.25 mg
Rutin	1.0 mg
Para-Aminobenzoic Acid	1.0 mg
Iron (Ferrous sulphate)	10.0 mg
Iodine (Pot Iodide)	0.3 mg
Copper (Cupric sulphate)	1.0 mg
Manganase (Mang sulphate)	0.5 mg
Phosporus (Calcium Phosph)	10.0 mg
Magnesium (Mag. Sulphate)	0.1 mg
Zinc (Zinc Sulphate)	1.0 mg
Sulphur	0.05 mg
Brewer’s Yeast (fermented Yeast)	2.0 mg
Sodium	0.05 mg
Potassium	5.0 mg
Calcium (Calcium Phospate)	10.0 mg

(Sumber : PT. Erela, Semarang)

Lampiran 3. Perhitungan konsentrasi tepung rumput laut *Gracilaria verrucosa* yang digunakan dalam penelitian

- Kebutuhan kalori manusia dewasa per hari adalah 2500 kal.
- Kebutuhan karbohidrat manusia per hari adalah  
 $65 \% \times 2500 \text{ kal} = 1625 \text{ kal}$   
 $= 406,25 \text{ gram.}$
- Jumlah serat yang dibutuhkan manusia rata-rata 30 g/hari, maka persen serat yang dibutuhkan manusia per hari adalah  $30 \text{ g} / 406,25 \text{ g} \times 100 \% = 7,3 \%$ .

Hasil tersebut merupakan dasar pengambilan konsentrasi tepung karaginan yang dimodifikasi dalam bentuk gel dan larutan yang diberikan pada tikus secara parenteral. Tepung karaginan dalam bentuk gel dan larutan ini sebagai pengganti CMC (*Carboxyl Metyl Cellulose*).

Hasil tersebut dibulatkan menjadi 7,5 % dan ditentukan sebagai konsentrasi ke-2. Konsentrasi ke-1 yaitu 5 % didasarkan pada jumlah CMC sebanyak 5 % yang digunakan pada ransum standar. Sedangkan konsentrasi ke-3 yaitu 10 % ditentukan untuk mengetahui pengaruh pemberian tepung karaginan bentuk gel dan larutan yang paling efektif.

Lampiran 4. Analisis Annova berat feses

**Univariate Analysis of Variance**

**Tests of Between-Subjects Effects<sup>b</sup>**

Dependent Variable: Berat feses

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	27.540 <sup>a</sup>	13	2.118	4.036	.000
Intercept	672.800	1	672.800	1281.706	.000
HARI	20.398	6	3.400	6.477	.000
PERLK	7.142	7	1.020	1.944	.066
Error	80.839	154	.525		
Total	781.179	168			
Corrected Total	108.379	167			

a. R Squared = .254 (Adjusted R Squared = .191)

b. Rumput laut = Gracilaria

**Berat feses<sup>c</sup>**

**Tukey HSD<sup>a,b</sup>**

Perlakuan	N	Subset
		1
Larutan 5%	21	1.7038
Gel 5%	21	1.7176
Larutan 7,5%	21	1.9571
Larutan 10%	21	1.9719
Gel 7,5%	21	2.0338
Gel 10%	21	2.0486
Kontrol +	21	2.2776
Kontrol -	21	2.2990
Sig.		.142

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .525.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumput laut = Gracilaria



**Berat feses**

Tukey HSD<sup>a,b,c</sup>

Konsentrasi (%)	N	Subset	
		1	2
5%	42	1.7107	
7,5%	42	1.9955	1.9955
10%	42	2.0102	2.0102
Kontrol +	21		2.2776
Kontrol -	21		2.2990
Sig.		.591	.578

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .633.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

**Berat feses**

Tukey HSD<sup>a,b,c</sup>

Bentuk tepung rumput laut	N	Subset
		1
Larutan	63	1.8776
Gel	63	1.9333
Kontrol +	21	2.2776
Kontrol -	21	2.2990
Sig.		.157

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .633.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 31.500.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

## Univariate Analysis of Variance

### Tests of Between-Subjects Effects <sup>b</sup>

Dependent Variable: Berat feses

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.520 <sup>a</sup>	11	1.411	2.785	.003
Intercept	457.486	1	457.486	902.889	.000
HARI	13.000	6	2.167	4.276	.001
A	.098	1	.098	.193	.661
B	2.394	2	1.197	2.363	.099
A * B	.028	2	.014	.027	.973
Error	57.763	114	.507		
Total	530.768	126			
Corrected Total	73.283	125			

a. R Squared = .212 (Adjusted R Squared = .136)

b. Rumput laut = Gracilaria

### Bentuk tepung rumput laut <sup>a</sup>

Dependent Variable: Berat feses

Bentuk tepung rumput laut	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Gel	1.933	.090	1.756	2.111
Larutan	1.878	.090	1.700	2.055

a. Rumput laut = Gracilaria

### Berat feses <sup>c</sup>

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Hari ke-	N	Subset	
		1	2
0	18	1.4711	
6	18	1.7039	
12	18	1.7339	
9	18	1.8028	
3	18	1.9300	1.9300
15	18	2.1750	2.1750
18	18		2.5217
Sig.		.055	.171

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .507.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18.000.

b. Alpha = .05.

c. Rumput laut = Gracilaria



**Berat feses <sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Konsentrasi (%)	N	Subset
		1
5%	42	1.7107
7,5%	42	1.9955
10%	42	2.0102
Sig.		.135

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
Based on Type III Sum of Squares  
The error term is Mean Square(Error) = .507.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 42.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumput laut = Gracilaria

**Berat feses <sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset
		1
Larutan 5%	21	1.7038
Gel 5%	21	1.7176
Larutan 7,5%	21	1.9571
Larutan 10%	21	1.9719
Gel 7,5%	21	2.0338
Gel 10%	21	2.0486
Sig.		.620

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
Based on Type III Sum of Squares  
The error term is Mean Square(Error) = .507.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumput laut = Gracilaria



Lampiran 5. Analisis Annova berat badan

**Univariate Analysis of Variance**

**Tests of Between-Subjects Effects<sup>b</sup>**

Dependent Variable: Berat badan tikus

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	36663.095 <sup>a</sup>	13	2820.238	15.296	.000
Intercept	7345097.524	1	7345097.524	39838.335	.000
HARI	4507.476	6	751.246	4.075	.001
PERLK	32155.619	7	4593.660	24.915	.000
Error	28393.381	154	184.373		
Total	7410154.000	168			
Corrected Total	65056.476	167			

a. R Squared = .564 (Adjusted R Squared = .527)

b. Rumput laut = Gracilaria

**Berat badan tikus<sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
Gel 10%	21	187.90		
Larutan 10%	21	200.48	200.48	
Gel 7,5%	21		202.67	
Larutan 7,5%	21		202.71	
Gel 5%	21		208.90	
Larutan 5%	21		209.00	
Kontrol -	21			228.90
Kontrol +	21			232.19
Sig.		.061	.463	.994

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 184.373.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21.000.

b. Alpha = .05.

c. Rumput laut = Gracilaria



**Berat badan tikus**

Tukey HSD<sup>a,b,c</sup>

Bentuk tepung rumput laut	N	Subset	
		1	2
Gel	63	199.83	
Larutan	63	204.06	
Kontrol -	21		228.90
Kontrol +	21		232.19
Sig.		.645	.800

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 205.630.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 31.500.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

**Berat badan tikus**

Tukey HSD<sup>a,b,c</sup>

Konsentrasi (%)	N	Subset		
		1	2	3
10%	42	194.19		
7,5%	42	202.69	202.69	
5%	42		208.95	
Kontrol -	21			228.90
Kontrol +	21			232.19
Sig.		.152	.442	.901

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 205.630.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

**Univariate Analysis of Variance**

**Tests of Between-Subjects Effects <sup>b</sup>**

Dependent Variable: Berat badan tikus

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9171.913 <sup>a</sup>	11	833.810	4.746	.000
Intercept	5138476.389	1	5138476.389	29250.269	.000
HARI	2901.111	6	483.519	2.752	.016
A	565.786	1	565.786	3.221	.075
B	4611.254	2	2305.627	13.125	.000
A * B	1093.762	2	546.881	3.113	.048
Error	20026.698	114	175.673		
Total	5167675.000	126			
Corrected Total	29198.611	125			

a. R Squared = .314 (Adjusted R Squared = .248)

b. Rumput laut = Gracilaria

**Bentuk tepung rumput laut <sup>a</sup>**

Dependent Variable: Berat badan tikus

Bentuk tepung rumput laut	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Gel	199.825	1.670	196.517	203.133
Larutan	204.063	1.670	200.755	207.371

a. Rumput laut = Gracilaria

**Berat badan tikus <sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Hari ke-	N	Subset	
		1	2
0	18	195.72	
3	18	197.39	197.39
6	18	198.72	198.72
9	18	200.44	200.44
12	18	204.89	204.89
15	18	207.33	207.33
18	18		209.11
Sig.		.127	.120

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 175.673.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18.000.

b. Alpha = .05.

c. Rumput laut = Gracilaria



**Berat badan tikus <sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Konsentrasi (%)	N	Subset	
		1	2
10%	42	194.19	
7,5%	42		202.69
5%	42		208.95
Sig.		1.000	.082

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 175.673.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 42.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumput laut = Gracilaria

**Berat badan tikus <sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
Gel 10%	21	187.90	
Larutan 10%	21		200.48
Gel 7,5%	21		202.67
Larutan 7,5%	21		202.71
Gel 5%	21		208.90
Larutan 5%	21		209.00
Sig.		1.000	.303

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 175.673.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumput laut = Gracilaria



Lampiran 6. Analisis Annova konsumsi pakan

**Univariate Analysis of Variance**

**Tests of Between-Subjects Effects<sup>b</sup>**

Dependent Variable: Pakan

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	79.528 <sup>a</sup>	13	6.118	7.795	.000
Intercept	25257.562	1	25257.562	32183.489	.000
HARI	63.747	6	10.624	13.538	.000
PERLK	15.781	7	2.254	2.873	.008
Error	120.859	154	.785		
Total	25457.949	168			
Corrected Total	200.387	167			

a. R Squared = .397 (Adjusted R Squared = .346)

b. Rumput laut = Gracilaria

**Pakan<sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
Gel 10%	21	11.7019	
Larutan 10%	21	12.1200	12.1200
Gel 7,5%	21	12.1271	12.1271
Larutan 7,5%	21	12.1276	12.1276
Gel 5%	21	12.2971	12.2971
Larutan 5%	21	12.4067	12.4067
Kontrol -	21	12.4981	12.4981
Kontrol +	21		12.8129
Sig.		.077	.189

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .785.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21.000.

b. Alpha = .05.

c. Rumput laut = Gracilaria



**Pakan**

Tukey HSD<sup>a,b,c</sup>

Bentuk tepung rumput laut	N	Subset	
		1	2
Gel	63	12.0421	
Larutan	63	12.2181	12.2181
Kontrol -	21	12.4981	12.4981
Kontrol +	21		12.8129
Sig.		.335	.128

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.154.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 31.500.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

**Pakan**

Tukey HSD<sup>a,b,c</sup>

Konsentrasi (%)	N	Subset	
		1	2
10%	42	11.9110	
7,5%	42	12.1274	12.1274
5%	42	12.3519	12.3519
Kontrol -	21	12.4981	12.4981
Kontrol +	21		12.8129
Sig.		.218	.102

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1.154.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

## Univariate Analysis of Variance

### Tests of Between-Subjects Effects <sup>b</sup>

Dependent Variable: Pakan

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	66.903 <sup>a</sup>	11	6.082	6.415	.000
Intercept	18539.492	1	18539.492	19552.950	.000
HARI	60.858	6	10.143	10.698	.000
A	.976	1	.976	1.029	.312
B	4.084	2	2.042	2.153	.121
A * B	.985	2	.493	.520	.596
Error	108.091	114	.948		
Total	18714.487	126			
Corrected Total	174.995	125			

a. R Squared = .382 (Adjusted R Squared = .323)

b. Rumput laut = Gracilaria

### Bentuk tepung rumput laut <sup>a</sup>

Dependent Variable: Pakan

Bentuk tepung rumput laut	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Gel	12.042	.123	11.799	12.285
Larutan	12.218	.123	11.975	12.461

a. Rumput laut = Gracilaria

### Pakan<sup>c</sup>

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Hari ke-	N	Subset	
		1	2
0	18	11.3100	
3	18	11.3422	
6	18	11.5022	
9	18	12.1228	12.1228
15	18		12.8167
12	18		12.8350
18	18		12.9817
Sig.		.168	.122

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .948.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18.000.

b. Alpha = .05.

c. Rumput laut = Gracilaria



**Pakan<sup>c</sup>**

**Tukey HSD<sup>a,b</sup>**

Konsentrasi (%)	N	Subset
		1
10%	42	11.9110
7,5%	42	12.1274
5%	42	12.3519
Sig.		.100

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
Based on Type III Sum of Squares  
The error term is Mean Square(Error) = .948.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 42.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumpuk laut = Gracilaria

**Pakan<sup>c</sup>**

**Tukey HSD<sup>a,b</sup>**

Perlakuan	N	Subset
		1
Gel 10%	21	11.7019
Larutan 10%	21	12.1200
Gel 7,5%	21	12.1271
Larutan 7,5%	21	12.1276
Gel 5%	21	12.2971
Larutan 5%	21	12.4067
Sig.		.185

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
Based on Type III Sum of Squares  
The error term is Mean Square(Error) = .948.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumpuk laut = Gracilaria



Lampiran 7. Analisis Annova kadar glukosa darah

**Univariate Analysis of Variance**

**Tests of Between-Subjects Effects<sup>b</sup>**

Dependent Variable: Kadar glukosa darah

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	148018.688 <sup>a</sup>	13	11386.053	101.282	.000
Intercept	4079267.879	1	4079267.879	36286.350	.000
HARI	99446.776	6	16574.463	147.435	.000
PERLK	48571.911	7	6938.844	61.723	.000
Error	17312.495	154	112.419		
Total	4244599.062	168			
Corrected Total	165331.183	167			

a. R Squared = .895 (Adjusted R Squared = .886)

b. Rumput laut = Gracilaria

**Kadar glukosa darah<sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset			
		1	2	3	4
Kontrol +	21	132.5471			
Gel 10%	21		144.5833		
Larutan 10%	21		150.9367	150.9367	
Gel 7,5%	21		151.4186	151.4186	
Larutan 7,5%	21			155.4876	
Gel 5%	21			157.2529	
Larutan 5%	21			158.6567	
Kontrol -	21				195.7152
Sig.		1.000	.427	.269	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 112.419.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21.000.

b. Alpha = .05.

c. Rumput laut = Gracilaria



**Kadar glukosa darah**

Tukey HSD<sup>a,b,c</sup>

Konsentrasi (%)	N	Subset		
		1	2	3
Kontrol +	21	132.5471		
10%	42	147.7600	147.7600	
7,5%	42		153.4531	
5%	42		157.9548	
Kontrol -	21			195.7152
Sig.		.192	.589	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 729.745.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

**Kadar glukosa darah**

Tukey HSD<sup>a,b,c</sup>

Bentuk tepung rumput laut	N	Subset		
		1	2	3
Kontrol +	21	132.5471		
Gel	63		151.0849	
Larutan	63		155.0270	
Kontrol -	21			195.7152
Sig.		1.000	.938	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 729.745.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 31.500.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

## Univariate Analysis of Variance

### Tests of Between-Subjects Effects <sup>b</sup>

Dependent Variable: Kadar glukosa darah

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	93019.062 <sup>a</sup>	11	8456.278	435.819	.000
Intercept	2951691.694	1	2951691.694	152124.111	.000
HARI	90208.156	6	15034.693	774.857	.000
A	489.506	1	489.506	25.228	.000
B	2192.533	2	1096.267	56.499	.000
A * B	128.867	2	64.434	3.321	.040
Error	2211.963	114	19.403		
Total	3046922.719	126			
Corrected Total	95231.025	125			

a. R Squared = .977 (Adjusted R Squared = .975)

b. Rumput laut = Gracilaria

### Bentuk tepung rumput laut <sup>a</sup>

Dependent Variable: Kadar glukosa darah

Bentuk tepung rumput laut	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Gel	151.085	.555	149.986	152.184
Larutan	155.027	.555	153.928	156.126

a. Rumput laut = Gracilaria

### Kadar glukosa darah <sup>c</sup>

Tukey HSD <sup>a,b</sup>

Hari ke-	N	Subset						
		1	2	3	4	5	6	7
18	18	110.4856						
15	18		131.8800					
12	18			146.6494				
9	18				151.4233			
6	18					159.1144		
3	18						169.9433	
0	18							201.8956
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 19.403.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 18.000.

b. Alpha = .05.

c. Rumput laut = Gracilaria

**Kadar glukosa darah <sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Konsentrasi (%)	N	Subset		
		1	2	3
10%	42	147.7600		
7,5%	42		153.4531	
5%	42			157.9548
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 19.403.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 42.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumput laut = Gracilaria

**Kadar glukosa darah <sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
Gel 10%	21	144.5833		
Larutan 10%	21		150.9367	
Gel 7,5%	21		151.4186	
Larutan 7,5%	21			155.4876
Gel 5%	21			157.2529
Larutan 5%	21			158.6567
Sig.		1.000	.999	.190

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 19.403.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 21.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumput laut = Gracilaria

Lampiran 8. Analisis Annova berat badan tikus hari ke-0

Univariate Analysis of Variance

Rumput laut = Gracilaria

Between-Subjects Factors <sup>a</sup>

Perlakuan		Value Label	N
	1	Kontrol +	3
	2	Kontrol -	3
	3	Gel 5%	3
	4	Gel 7,5%	3
	5	Gel 10%	3
	6	Larutan 5%	3
	7	Larutan 7,5%	3
	8	Larutan 10%	3

a. Rumput laut = Gracilaria

Tests of Between-Subjects Effects <sup>b</sup>

Dependent Variable: Berat badan tikus

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4108.958 <sup>a</sup>	7	586.994	2.493	.062
Intercept	982935.375	1	982935.375	4175.301	.000
PERLK	4108.958	7	586.994	2.493	.062
Error	3766.667	16	235.417		
Total	990811.000	24			
Corrected Total	7875.625	23			

a. R Squared = .522 (Adjusted R Squared = .312)

b. Rumput laut = Gracilaria

Post Hoc Tests

Perlakuan

Homogeneous Subsets



**Berat badan tikus <sup>c</sup>**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

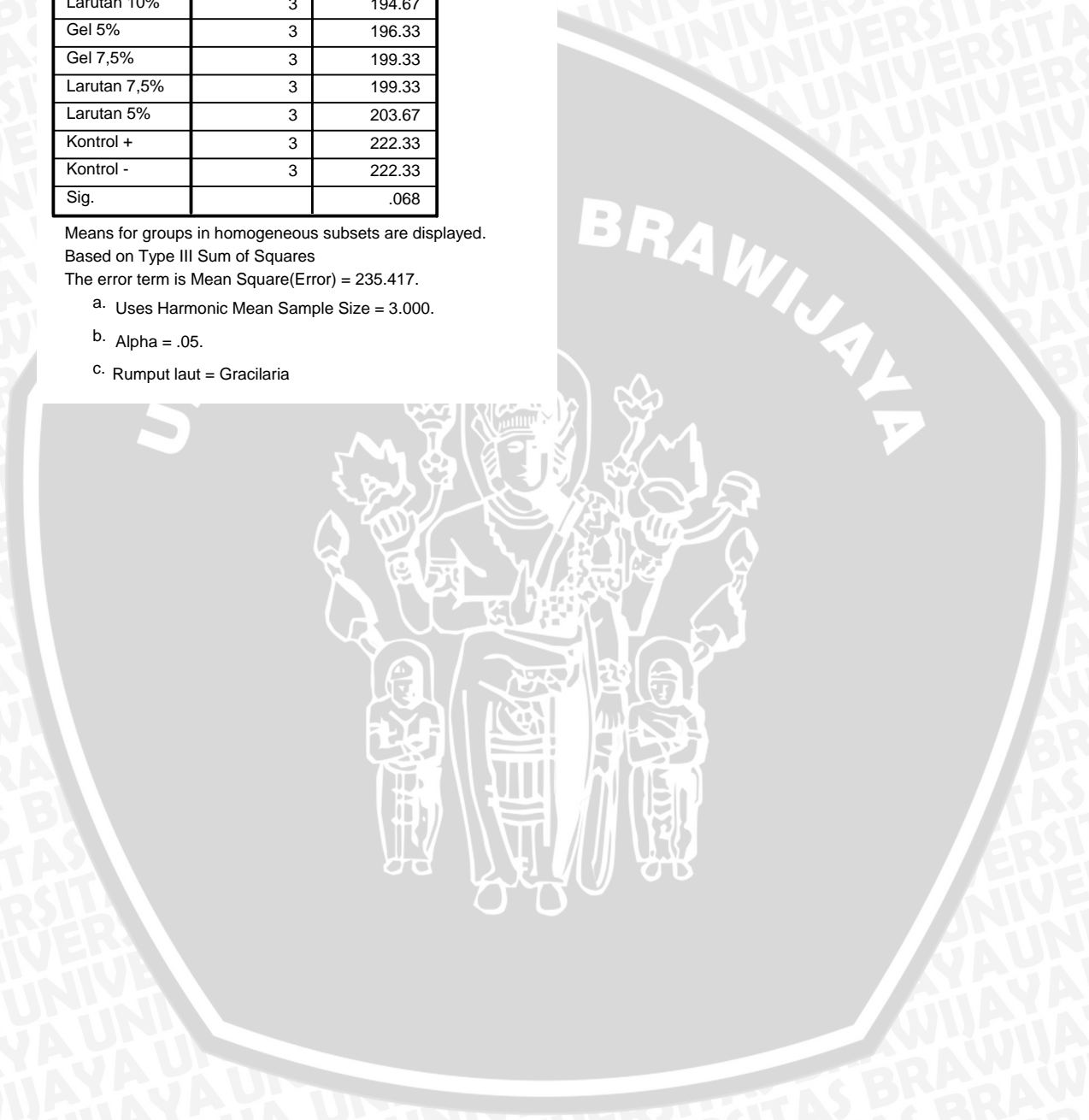
Perlakuan	N	Subset
		1
Gel 10%	3	181.00
Larutan 10%	3	194.67
Gel 5%	3	196.33
Gel 7,5%	3	199.33
Larutan 7,5%	3	199.33
Larutan 5%	3	203.67
Kontrol +	3	222.33
Kontrol -	3	222.33
Sig.		.068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 235.417.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
- b. Alpha = .05.
- c. Rumpit laut = Gracilaria



## Lampiran 9. Prosedur analisis proksimat

### A. Analisis kadar air

Menurut Sudarmadji, *et al.*, (1997) penentuan kadar air dengan metode gravimetri adalah sebagai berikut :

- Timbang sampel yang berupa serbuk sebanyak 2 gram dalam botol timbang yang telah diketahui beratnya. Kemudian keringkan dalam oven pada suhu (100-105) °C selama semalam, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang beratnya.
- Pengurangan berat merupakan banyaknya air dalam bahan, dengan perhitungan

$$\text{wet bases (wb)} = \frac{(\text{berat botol timbang} + \text{berat sampel}) - \text{berat akhir}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

### B. Analisis kadar protein

Menurut Sudarmadji, *et al.*, (1997) penentuan kadar protein dengan menggunakan metode makro *kjeldahl* adalah sebagai berikut :

- Timbang 1 gram bahan dan masukkan dalam labu *kjeldahl*. Kemudian tambahkan 7,5 gram K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, 0,35 gram HgO dan 15 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat.
- Panaskan semua bahan dalam labu *kjeldahl* dalam lemari asam sampai mendidih dan cairan jernih. Tentukan pemanasan tambahan kurang lebih 1 jam. Matikan api pemanas dan biarkan menjadi dingin. Kemudian tambahkan 100 ml aquades dalam labu *kjeldahl* dan beberapa lempeng Zn, juga ditambahkan 15 ml larutan K<sub>2</sub>S 4 % dan akhirnya tambahkan perlahan-lahan larutan NaOH 50 % sebanyak 50 ml. Pasanglah labu *kjeldahl* dengan segera pada alat destilasi.

- Panaskan labu *kjeldahl* perlahan-lahan sampai dua lapisan cairan tercampur, kemudian panaskan dengan cepat sampai mendidih.
- Destilat ini ditampung dalam erlenmeyer yang telah diisi dengan 50 ml larutan standar HCl 0,1 N dan 5 tetes indikator metil merah. Lakukan destilasi sampai destilat yang tertampung sebanyak 75 ml.
- Titrasi destilat yang diperoleh dengan standar NaOH (0,1 N) sampai warna kuning.
- Buatlah juga larutan blanko dengan mengganti bahan dengan aquades, lakukan destruksi, destilasi dan titrasi seperti sampel.

Perhitungan :

$$\% \text{ kadar } N = \frac{(\text{ml NaOH blanko} - \text{ml NaOH sampel})}{\text{gram sampel} \times 1000} \times 100 \times 14,008$$

### C. Analisis kadar lemak

Menurut Sudarmadji, *et al.*, (1997) penentuan kadar lemak dengan menggunakan metode *Soxhlet* adalah sebagai berikut :

Labu yang sesuai ukurannya dengan alat ekstraksi *soxhlet* dikeringkan dalam oven lalu didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Sampel yang sudah dihomogenkan ditimbang sebanyak 2 gram. Dibungkus dalam kertas saring dan dimasukkan dalam selongsong sampel dan ditutup dengan kapas bebas sampel. Ekstraksi dilakukan selama 5 jam sampai pelarut yang turun kembali ke labu lemak berwarna jernih. Pelarut yang ada dalam labu yang berisi lemak hasil ekstraksi dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C. Setelah didapatkan berat yang tetap , lemak dalam labu tersebut

didinginkan dalam desikator dan selanjutnya lemak beserta labunya ditimbang.

Perhitungan kadar lemak sebagai berikut:

$$\% \text{ kadar air} = \frac{(\text{berat labu} + \text{lemak} - \text{berat labu})}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

#### D. Analisis kadar abu

Menurut Sudarmadji, *et al.*, (1997) penentuan kadar abu dengan metode pemanasan adalah sebagai berikut: timbang 2 gram sampel dalam kurs porselen yang telah kering dan telah diketahui beratnya, kemudian pijarkan dalam *muffle* sampai diperoleh abu berwarna keputih-putihan dengan suhu 550-660 °C. Masukkan kurs yang berisi abu ke dalam desikator dan ditimbang kadar abu setelah dingin. Perhitungan kadar abu adalah sebagai berikut:

$$\% \text{ kadar abu} = \frac{\text{berat akhir} - \text{berat kurs porselen}}{\text{berat akhir}} \times 100\%$$



### FOTO – FOTO PENELITIAN



Tikus Putih Wistar (*Rattus norvegicus*)



Kandang Tikus



Penimbangan Tikus



Pengambilan darah dari sinus orbitalis



Pemberian pakan secara oral



Penyuntikan *Alloxan* melalui *interven*a



Penampang dalam tikus



Pengamatan glukosa urin tikus



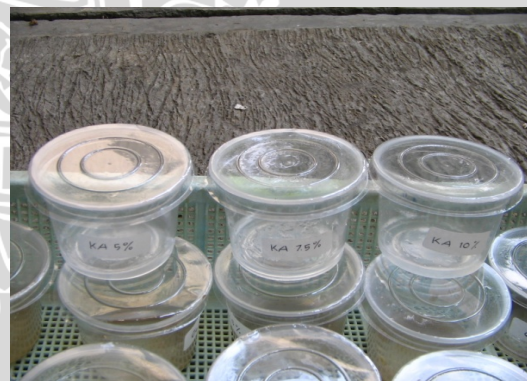
Uriscan



Glukosa darah tikus



GOD-PAP kit



Gel dan larutan tepung rumput laut



Ransum pakan tikus



Pembuatan ransum pakan tikus



Pembuatan gel tepung rumput laut



Spektrofotometer



Homogenizer



Timbangan analitik