

## PENGARUH PEMBERIAN POLISAKARIDA LARUT AIR BENGGUANG (*Pachyrhizus erosus* L.) TERHADAP MENCIT PENDERITA DIABETES MELLITUS

(The Effect of Water-Soluble Polysaccharides from Yam (*Pachyrhizus erosus* L.) on Mice with Diabetes Mellitus)

Sri Rizki Fitri<sup>1,2)</sup>, Herla Rusmarilin<sup>1)</sup> dan Ridwansyah<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian USU  
Jl. Prof A. Sofyan No. 3 Medan Kampus USU Medan

<sup>2)</sup>E-mail: sri\_rizki\_fitri@yahoo.com

Diterima tanggal : 7 April 2016 / Disetujui tanggal 28 April 2016

### ABSTRACT

Yam tuber (*Pachyrhizus erosus* L.) is the kind of tuber that contain the most potential compounds i.e. water-soluble polysaccharide (WSP). The WSP have an ability to degrade blood glucose level. The purpose of this study was to uncover the characteristics of WSP in yam and the effect of of the WSP on the male white mice with diabetes mellitus. The observed parameters on the chemico-physical characteristics of the WSP were viscosity, soluble ability, dextrose equivalent, polymerization degree, glucose content, total sugars, reducing sugars, and starch content. In vivo test was using 31 male white mice (aged 2 months) with an average weight of 25-30 g for glucose tolerance test, body weight measure, and the hypoglycaemic effect. The glucose tolerance test consisted 5 of mice and using a Completely Randomize Design (CRD). The blood glucose level was examined periodic at 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, and 120 minutes. The examination of body weight and the hypoglycaemic effect was done for 28 mice using a Completely Randomize Design (CRD) with two factors i.e. the type treatment: the control group (treated with aquadest), the negative group (inducted with streptozotocin 180 mg/kg body weight and treated aquadest), the positive group (treated WSP of 400 mg/kg body weight), and the treatment group (inducted with streptozotocin of 180 mg/kg body weight and treated with WSP of 400 mg/kg body weight) and periodical time of examination: week-1, week-2, week-3, and week-4. Each treatment consisted of 7 mice. Glucose tolerance test showed that the WSP of yam could inhibited glucose absorption in the gastrointestinal. Result of this research showed that the supplementation of yam WSP at 400 mg/kg body weight can significantly decreased blood glucose level and increased body weight ( $P < 0,01$ ) in 4 weeks of streptozotocin induction mice.

Keyword: yam, water-soluble polysaccharide, blood-glucose level, diabetes mellitus

### PENDAHULUAN

Salah satu pemicu timbulnya penyakit degeneratif yaitu adanya perubahan pola makan sehari-hari dimana masyarakat cenderung mengkonsumsi makanan cepat saji (*junk food* dan *fast food*) dan tidak lagi memperhatikan kandungan gizi makanan yang dikonsumsi. Salah satu penyakit degeneratif yang dapat terjadi akibat hal ini adalah diabetes mellitus. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia Tahun 2013 melaporkan bahwa di Indonesia terdapat 8,5 juta penderita diabetes mellitus yang merupakan jumlah ke-4 terbanyak di Asia dan ke-7 di dunia. Tahun 2030 diperkirakan penderita diabetes mellitus di Indonesia meningkat hingga 21,3 juta jiwa.

Diabetes mellitus adalah suatu penyakit yang timbul karena kadar gula darah yang tinggi (hiperglikemia), disebabkan oleh asupan

makanan sumber gula secara berlebihan (Helmawati, 2014). Hal ini berkaitan dengan gangguan insulin oleh ketidakmampuan pankreas memproduksi insulin secara optimal sebagai penyeimbang kadar gula darah. Faktor lain penyebab diabetes mellitus adalah stress oksidatif dimana radikal bebas yang terdapat dalam tubuh akan meningkat dan merusak membran sel (Hanachi, dkk., 2009).

Polisakarida larut air (PLA) dapat digunakan sebagai salah satu alternatif dalam mengurangi kadar gula dalam darah bagi penderita diabetes. Polisakarida larut air tergolong oligosakarida yang tidak bisa dicerna oleh tubuh manusia dan mampu membentuk gel dan larutan kental yang dapat menghambat penyerapan glukosa di pencernaan (Lingga, 2010). Salah satu tanaman potensial penghasil polisakarida larut air adalah bengkuang.

Untuk mendapatkan rendemen PLA yang tinggi, ekstraksi PLA bengkang dilakukan dengan menggunakan laru tempe (Hilman, 2012). Mikroba yang terdapat pada laru tempe mempunyai aktivitas hidrolitik yang mendegradasi makromolekul menjadi komponen dengan berat molekul rendah. Selama fermentasi akan terbentuk isoflavon aglikon yang mempunyai bioaktivitas yang lebih baik dari isoflavon dalam bentuk glikosida (Mortensen, dkk., 2009).

Untuk mengetahui potensi PLA bengkang dalam menurunkan kadar gula dalam darah, maka dilakukan pengujian efek hipoglikemik, penimbangan berat badan, dan uji toleransi glukosa. Mencit percobaan diinduksi dengan streptozotocin untuk mendapatkan mencit dalam kondisi diabetes mellitus. Streptozotocin dapat merusak sel beta Langerhans pankreas yang menyebabkan gangguan sintesis insulin dan hiperglikemia secara permanen (Izumi, dkk., 2003; Guyton dan Hall, 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan kimia polisakarida larut air bengkang dan perannya dalam menurunkan kadar gula darah mencit penderita diabetes mellitus.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah umbi bengkang varietas gajah umur panen lima bulan dan laru tempe. Hewan uji yang digunakan adalah mencit putih jantan galur wistar berjumlah 31 ekor, umur 2-3 bulan dengan berat badan 25-30 gram dan sehat. Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian adalah streptozotocin (Calbiochem), D-glukosa, etanol, HCl, NaOH, fenol,  $H_2SO_4$ , DNS (3,5-dinitrosilat),  $C_4H_4KNaO_6 \cdot 4H_2O$ ,  $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $C_7H_4N_2O_7$ , dan  $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ .

### Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan diantaranya adalah blender (mesin giling), loyang, oven pengeringan, ayakan 80 mesh, ayakan 100 mesh, *viscometer* SO, *spectrophotometer*, vortex, neraca analitik, *oven blower*, stirer, hotplate, magnetic stirer hotplate, erlenmeyer, dan alat-alat kaca, timbangan hewan, strip glukotes, alat suntik, oral sunde, dan *blood glucose test meter*.

### Metode Penelitian

Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahap, yaitu:

Tahap 1 : Pembuatan pati bengkang.

Tahap 2 : Pembuatan Polisakarida Larut Air (PLA) bengkang, kemudian dianalisis sifat fisik dan kimia meliputi viskositas (Sukardjo, 2002), daya larut (SNI 06-1451-1989), *dextrose equivalent* (Dokic, dkk., 2014), derajat polimerasi (Wurzberg, 1986), kadar pati (Apriyantono, dkk., 1989), kadar glukosa (Somogyi, 1952), total gula (Dubois, dkk., 1956), dan kadar gula pereduksi (Apriyantono, dkk., 1989).

Tahap 3: Pengujian *in vivo* Polisakarida Larut Air (PLA) terhadap mencit percobaan dengan 3 parameter yaitu uji toleransi glukosa, penimbangan berat badan, dan efek hipoglikemik.

Pengujian toleransi glukosa dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) nonfaktorial, yaitu: pengaruh waktu penentuan kadar glukosa darah setelah pemberian PLA bengkang 400 mg/kg berat badan dan glukosa 2 g/kg berat badan yang terdiri dari 4 taraf, yaitu:  $T_1 = 30$  menit,  $T_2 = 60$  menit,  $T_3 = 90$  menit, dan  $T_4 = 120$  menit. Setiap perlakuan dibuat dalam 5 kali ulangan.

Pengujian berat badan dan efek hipoglikemik juga dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor, yaitu: faktor I: Jenis perlakuan yang terdiri dari 4 taraf, yaitu:  $P_1 =$  kelompok kontrol yaitu pemberian aquadest selama 28 hari,  $P_2 =$  kelompok negatif yaitu disuntik streptozotocin sebanyak 180 mg/kg berat badan selama 3 hari dan kemudian diberi aquadest selama 28 hari,  $P_3 =$  kelompok positif yaitu pemberian aquadest selama 3 hari selanjutnya pemberian Polisakarida Larut Air (PLA) bengkang sebanyak 400 mg/kg berat badan selama 28 hari, dan  $P_4 =$  kelompok perlakuan yaitu disuntik streptozotocin 180 mg/kg berat badan 3 hari dan kemudian diberi Polisakarida Larut Air (PLA) selama 28 hari. Faktor II: Waktu penentuan kadar glukosa yang terdiri dari 4 taraf, yaitu:  $M_1 =$  minggu ke-1,  $M_2 =$  minggu ke-2,  $M_3 =$  minggu ke-3, dan  $M_4 =$  minggu ke-4. Semua perlakuan dibuat ulangan sebanyak 5 kali. Apabila diperoleh hasil yang berbeda nyata dan sangat nyata maka dilanjutkan dengan uji *Least Significant Range* (LSR).

### Pembuatan pati

Bengkuang segar umur 5 bulan sebanyak disortasi, ditrimming, dan dikupas. Bengkuang diparut dan ditambah air dengan perbandingan 1:2. Bubur disaring dan diendapkan selama 12 jam. Hasil endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 40 °C selama 24 jam. Dihaluskan dan diayak dengan saringan 80 mesh.

### Pembuatan polisakarida larut air

Pati bengkuang ditambah air dengan perbandingan 1:2. Filtrat ditambah larut tempa sebanyak 0,3% dan diinkubasi selama 3 hari. Pemisahan pati dan penggumpalan PLA dengan etanol dengan konsentrasi 75% dan konsentrasi 95% (Yuliasih dkk., 2011) dengan perbandingan masing-masing 1:4 (Hokputsa, dkk., 2004). Gumpalan PLA basah dipisahkan dari etanol kemudian disaring, dikeringkan pada suhu 40 °C selama 24 jam. Hasil bubuk PLA yang telah kering dihaluskan dan diayak dengan saringan 100 mesh. Polisakarida larut air bengkuang yang dihasilkan dianalisis sifat fisik dan kimia meliputi viskositas (Sukardjo, 2002), daya larut (SNI 06-1451-1989), *dextrose equivalent* (Dokic, dkk., 2014), derajat polimerasi (Wurzburg, 1986), kadar pati (Apriyantono, dkk., 1989), kadar glukosa (Somogyi, 1952), total gula (Dubois, dkk., 1956), dan kadar gula pereduksi (Apriyantono, dkk., 1989).

### Pengujian *in vivo* terhadap mencit percobaan

Pengujian *in vivo* yang dilakukan terhadap mencit putih jantan galur wistar terdiri dari uji toleransi glukosa, penimbangan berat badan, dan efek hipoglikemik.

### Uji toleransi glukosa (GTT, *Glukosa Toleransi Test*)

Mencit putih jantan galur wistar sebanyak 5 ekor dengan berat 25-30 gram dan berumur 8-10 minggu diadaptasikan selama 1 minggu di dalam kandang kolektif dan diberi makan dan minum secara *ad libitum*. Mencit wistar dipuaskan selama 16 jam. Masing-masing mencit dilakukan pengujian toleransi terhadap glukosa yaitu dengan cara diberikan polisakarida larut air (PLA) bengkuang sebanyak 400 mg/kg berat badan dan larutan glukosa 20 mg/kg berat badan kepada mencit secara oral. Pemeriksaan kadar glukosa darah dilakukan dengan mengambil darah dari ekor mencit pada menit ke 0, 30, 60, 90, dan 120 sesudah pemberian PLA bengkuang dan larutan glukosa.

### Pengujian efek hipoglikemik (Ruzaidi, dkk., 2008) dan berat badan mencit percobaan

Mencit putih jantan galur wistar sebanyak 28 ekor dengan berat 25-30 gram dan berumur 8-10 minggu diadaptasikan selama 1 minggu di dalam kandang kolektif dan diberi makan dan minum secara *ad libitum*. Mencit wistar dipuaskan selama 16 jam dan diambil darahnya untuk mengetahui kadar glukosa awal, dan kemudian diinjeksi streptozotocin secara intraperitoneal dengan konsentrasi 180 mg/kg berat badan. Tiga hari setelah injeksi streptozotocin, darah diambil melalui ekor dan diukur dengan glukometer untuk memastikan bahwa mencit pada kondisi hiperglikemik. Hanya mencit dengan kadar glukosa darah puasa >126 mg/dL yang digunakan untuk kelompok negatif dan perlakuan.

Mencit dibagi ke dalam 4 kelompok dan masing-masing kelompok terdiri dari 7 ekor mencit, antara lain: kelompok kontrol yaitu pemberian aquadest selama 28 hari, kelompok negatif yaitu disuntik streptozotocin sebanyak 180 mg/kg berat badan selama 3 hari dan kemudian diberi aquadest selama 28 hari, kelompok positif yaitu pemberian aquadest selama 3 hari selanjutnya pemberian Polisakarida Larut Air (PLA) bengkuang sebanyak 400 mg/kg berat badan selama 28 hari, dan kelompok perlakuan yaitu disuntik streptozotocin 180 mg/kg berat badan 3 hari dan kemudian diberi polisakarida larut air (PLA) selama 28 hari. Penentuan kadar glukosa darah dan penimbangan berat badan dilakukan pada minggu penelitian ke 0, 1, 2, 3, dan 4. Prosedur penelitian yang dilakukan telah mendapat sertifikat laik etik dari komisi Etik – Universitas Sumatera Utara.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Fisik dan Kimia Polisakarida Larut Air Bengkuang

Pengujian karakteristik fisik dan kimia dilakukan berdasarkan total gula, kadar glukosa, kadar gula pereduksi, kadar pati, daya larut, viskositas, derajat polimerasi, dan *dextrose equivalent*. Hasil pengujian karakteristik fisik dan kimia polisakarida larut air (PLA) bengkuang bengkuang dapat dilihat pada Tabel 1.

### Total gula

Penentuan total gula adalah untuk mengetahui berapa banyak kadar gula pereduksi dan non pereduksi yang merupakan hasil hidrolisis pati di dalam bahan. Pada penelitian ini dilakukan metode ekstraksi dengan

menggunakan laru tempe yang berfungsi untuk memperoleh polisakarida larut air (PLA) dari umbi bengkung yang lebih murni. Laru tempe mempunyai aktivitas amilolitik dan proteolitik. Aktivitas inilah yang dapat mendegradasi pati sehingga polisakarida yang terdapat di dalam bahan lebih mudah terpisah. Angulo-Bejarano, dkk., (2008) menyatakan bahwa kapang tempe mempunyai aktivitas relatif yang dapat menghidrolisis pati.

Hasil penelitian diperoleh total gula yang terkandung dalam polisakarida larut air bengkung adalah sebanyak 12,6633%. Kandungan total gula tersebut cukup besar karena polisakarida yang terdapat pada

bengkung telah terdegradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti oligosakarida dan monosakarida. Hal ini dikarenakan adanya aktivitas enzim pada proses fermentasi dari kapang *Rhizopus oligosporus* yang mampu memecah karbohidrat pada pati umbi bengkung menjadi komponen yang lebih sederhana. Hal ini sesuai dengan pendapat Tensiska, (2008) yang menyatakan bahwa proses hidrolisis pada PLA akan menghasilkan bermacam-macam monosakarida antara lain rhamnosa, fruktosa (metil pentosa), arabinosa, D-glukosa, D-mannosa, D-galaktosa, asam D-galakturonat, asam D-galakturonat, atau asam D-glikoronat.

Tabel 1. Karakteristik fisik dan kimia polisakarida larut air bengkung

Parameter	Kadar per 100 gram
Total gula (%)	12,6633±1,3035
Kadar glukosa (%)	1,8860±0,0049
Kadar gula pereduksi (%)	0,0681±0,0008
Kadar pati (%)	0,0775±0,0031
Daya larut (%)	80,7286±0,2487
Viskositas (cP)	0,9633±0,0075
Derajat polimerasi	17,1140±2,2269
<i>Dextrose equivalent</i>	5,8432±0,7500

Keterangan: Data terdiri dari 3 ulangan ± standar deviasi

#### Kadar glukosa

Inulin merupakan polimer dari unit glukosa dan fruktosa yang saling berikatan dalam rantai karbohidrat (Lingga, 2010; Wada, dkk., 2005). Hasil penelitian yang dilakukan, kadar glukosa yang terkandung dalam polisakarida larut air bengkung sebanyak 1,8860%. Adanya penggunaan laru tempe pada proses ekstraksi PLA bengkung yaitu dalam proses fermentasi menyebabkan komponen-komponen sederhana seperti glukosa menjadi bebas. Hal ini sesuai dengan pendapat Anonimus (2010) yang menyatakan bahwa laru tempe mampu memecah komponen pati umbi bengkung menjadi lebih sederhana karena adanya sintesa enzim protease dan amilase. Hilman (2012) menyatakan bahwa kadar glukosa tertinggi PLA bengkung dengan berbagai metode ekstraksi terdapat pada PLA bengkung yang diekstraksi dengan laru tempe dibandingkan dengan ragi roti dan air.

#### Kadar gula pereduksi

Semua monosakarida (glukosa, fruktosa, dan galaktosa) dan disakarida (laktosa dan maltosa) kecuali sukrosa dan polisakarida termasuk ke dalam golongan gula pereduksi. Hasil penelitian yang dilakukan, kadar gula pereduksi yang terkandung dalam polisakarida larut air bengkung yaitu sebanyak 0,0681%.

Kapang yang paling sering ditemukan pada laru tempe adalah *Rhizopus oligosporus*, *Rhizopus oryzae*, dan *Rhizopus stolonifer*. Gula pereduksi yang terbentuk ini akibat adanya proses fermentasi oleh kapang *Rhizopus oligosporus* yang terdapat pada laru tempe. Kapang tempe akan mensintesa enzim-enzim yang mampu memecah komponen karbohidrat pada pati menjadi gula-gula sederhana termasuk gula pereduksi. Hal ini sesuai dengan pendapat Harijono, dkk. (2012) dan Mortensen, dkk. (2009) yang menyatakan bahwa pada proses fermentasi PLA dihasilkan enzim amilase dan protease yang mampu menghidrolisis PLA sehingga terjadi peningkatan kadar gula bebas.

#### Kadar pati

Pengujian kadar pati dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak pati yang terkandung pada polisakarida larut air bengkung karena inulin sendiri merupakan polisakarida larut air non pati. Kandungan pati pada polisakarida larut air menunjukkan kemurnian PLA itu sendiri. Semakin rendah kadar pati maka polisakarida larut air akan semakin murni. Proses ekstraksi polisakarida larut air bengkung dengan metode fermentasi dengan laru tempe akan memecah karbohidrat pada pati umbi bengkung. Hal ini sesuai dengan Angulo-Bejarano, dkk. (2008) yang menyatakan bahwa kapang tempe dapat

menghidrolisis pati. Hasil penelitian yang dilakukan polisakarida larut air bengkung mengandung kadar pati sebanyak 0,0775%. Hal ini menunjukkan polisakarida larut air bengkung yang dihasilkan cukup murni.

#### **Daya Larut**

Pengamatan daya larut PLA bengkung dilakukan dengan menggunakan sampel sebanyak 1 g dalam 10 ml akuades. Semakin tinggi nilai daya larut suatu bahan maka semakin mudah bahan tersebut larut dalam air. Daya larut PLA bengkung yang dihasilkan adalah sebesar 80,7286%, dalam hal ini nilai daya larut tersebut cukup tinggi. Berdasarkan hasil Hilman (2012) bahwa daya larut PLA bengkung yang tertinggi adalah yang diekstraksi dengan laru tempe dibandingkan PLA bengkung yang diekstraksi dengan air dan ragi roti. Hal tersebut dikarenakan ekstraksi PLA bengkung yang diperoleh melalui fermentasi dengan laru tempe dapat melarutkan senyawa-senyawa organik, sehingga daya larut menjadi semakin tinggi dengan berkurangnya partikel pada PLA bengkung. Hal ini sesuai dengan Sukardjo (2002) dan Pusat Inovasi LIPI (2011) yang menyatakan bahwa dua jenis campuran yang bersifat heterogen dapat dipisah secara mekanis sehingga peran air sebagai pelarut dapat dimaksimalkan dengan adanya proses fermentasi dari ekstraksi umbi bengkung.

#### **Viskositas**

Viskositas dari PLA bengkung yang diperoleh sebesar 0,9633 cP, hal ini diperoleh karena dalam proses ekstraksi menggunakan laru tempe yang dapat memecah serta melarutkan dengan sempurna makromolekul yang terdapat dalam pati bengkung sehingga menghasilkan sedikit partikel untuk saling bergesekan. Branen, dkk. (1990) yang dikutip oleh Prankongpan, dkk. (2002) menjelaskan bahwa viskositas suatu suspensi tergantung pada bentuk molekul, ukuran dan muatan. Hilman (2012) dalam penelitiannya memperoleh data bahwa viskositas yang paling rendah adalah PLA bengkung yang diekstrak dengan laru tempe dibandingkan dengan ekstraksi PLA bengkung dengan ragi roti dan air.

#### **Dextrose equivalent**

*Dextrose equivalent* (DE) adalah istilah untuk menyatakan jumlah total gula reduksi seperti D-Glukosa dalam basis kering (Kusnandar, 2010). *Dextrose equivalent* dari PLA umbi bengkung yang digunakan adalah 5,8432. Produk PLA bengkung yang diperoleh dari proses hidrolisis dengan penambahan air sebanyak 2

bagian dan reaksi katalitik dari laru tempe. Proses hidrolisis dan fermentasi dengan laru tempe dapat mengubah pati menjadi monomer-monomer sakarida yang lebih sederhana. Produk hasil hidrolisis umumnya menghasilkan unit-unit monomer sakarida selain D-Glukosa yaitu D-Fruktosa (Chronakis, 1998). Hal ini sesuai dengan pendapat Lingga (2010) yang menyatakan Polisakarida Larut Air (PLA) termasuk dalam golongan oligosakarida, yang penyusunnya terdiri inulin. Inulin tersusun oleh polimer unit glukosa dan fruktosa yang saling berikatan dalam rantai karbohidrat (Wada, dkk., 2005).

#### **Derajat polimerasi**

Derajat polimerasi (DP) merupakan jumlah unit monomer yang terikat pada struktur karbohidrat. Derajat polimerasi PLA bengkung yang dihasilkan adalah 17,1140. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wada, dkk. (2005) bahwa rata-rata DP dari inulin antara 16-24. PLA bengkung yang dalam hal ini adalah inulin yang penyusunnya terdiri dari glukosa dan fruktosa.

#### **Uji toleransi glukosa (GTT, *Glucose Toleransi Test*)**

Uji toleransi glukosa menunjukkan kemampuan penyerapan glukosa sesaat setelah glukosa masuk ke dalam pencernaan mencit percobaan. Mencit percobaan diberikan polisakarida larut air bengkung sebanyak 400 mg/kg berat badan dan larutan glukosa sebanyak 20 mg/kg berat badan secara oral. Kemudian kadar glukosa darah diamati pada menit ke-30, 60, 90, dan 120. PLA bengkung menyebabkan penyerapan glukosa menurun secara signifikan ( $P < 0,01$ ). Hasil uji LSR pengaruh waktu periodik pengujian toleransi glukosa terhadap kadar glukosa darah pada mencit percobaan dapat dilihat dari Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar glukosa darah tertinggi terdapat pada T<sub>1</sub> (Menit ke-30) yaitu 103,67 mg/dL dan terendah terdapat pada T<sub>4</sub> (Menit ke-120) yaitu 75,33 mg/dL. Adanya pemberian PLA bengkung menyebabkan perlambatan peningkatan kadar glukosa darah. Hal ini menunjukkan salah satu mekanisme penurunan kadar glukosa darah yaitu PLA bengkung dapat menghambat penyerapan glukosa dalam pencernaan.

Pengukuran kadar glukosa darah pada mencit dilakukan selama 2 jam dengan interval waktu 30 menit. Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin lama waktu periodik pengujian maka kadar glukosa darah semakin menurun karena adanya penghambatan penyerapan gula dari makanan oleh polisakarida larut air bengkung.

Dapat dilihat pada menit ke-30, rata-rata kadar glukosa darah mencit 103,67 mg/dL, dalam hal ini kadar glukosa darah mencit mengalami kenaikan dari kadar glukosa puasa yakni sebesar 88 mg/dL. Hal ini sesuai dengan dengan literatur yang menyatakan bahwa absorpsi glukosa dalam tubuh memerlukan waktu sekitar 30-60 menit dan akan menurun setelah 2-3 jam pemberian sediaan uji (Sirait dan Hargono, 1991).

Kadar glukosa darah mencit (Tabel 1) menurun pada waktu uji 120 menit ( $T_4$ ) menjadi 75,33 mg/dL. Hal ini membuktikan bahwa PLA bengkang yang diberikan dapat menghambat penyerapan glukosa sehingga kadar glukosa

darah rendah atau menurun. Weickert dan Pfeiffer (2008) melaporkan bahwa serat makanan dapat menurunkan glukosa postprandial yang berkaitan dengan sifatnya yang dapat membentuk gel. Serat larut merupakan senyawa yang dapat membentuk gel ketika tersedia air dalam perut dan usus halus, gel yang terbentuk memperlambat pengosongan perut, mempercepat waktu transit di usus halus, dan mengendalikan penyerapan nutrisi (Lunn dan Buttriss, 2007). Hal ini yang menyebabkan ekstrak PLA bengkang mampu menghambat penyerapan glukosa.

Tabel 2. Pengaruh waktu penentuan kadar glukosa darah terhadap kadar glukosa mencit

Perlakuan	Waktu penentuan kadar glukosa darah (Menit)	Kadar gula darah (mg/dL)
T <sub>1</sub>	30	103,67 <sup>aA</sup>
T <sub>2</sub>	60	85,67 <sup>abAB</sup>
T <sub>3</sub>	90	82,00 <sup>bB</sup>
T <sub>4</sub>	120	75,33 <sup>bB</sup>

Keterangan: notasi huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf 5% dan berbeda sangat nyata pada taraf 1%.

#### Berat badan mencit percobaan

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa jenis perlakuan memberikan

pengaruh terhadap persentase kenaikan berat badan mencit percobaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh jenis perlakuan terhadap persentase kenaikan berat badan mencit

Kelompok Perlakuan	Persentase kenaikan berat badan (%)
P <sub>1</sub> = Kelompok kontrol	9,632 <sup>aA</sup>
P <sub>2</sub> = Kelompok negatif	0,130 <sup>bB</sup>
P <sub>3</sub> = Kelompok positif	12,819 <sup>aA</sup>
P <sub>4</sub> = Kelompok perlakuan	9,639 <sup>aA</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf 5% (huruf kecil) dan berbeda sangat nyata pada taraf 1% (huruf besar).

Tabel 2 menunjukkan bahwa persentase kenaikan berat badan tertinggi terdapat pada perlakuan P<sub>3</sub> yaitu sebesar 12,819% dan yang terendah terdapat pada perlakuan P<sub>2</sub> yaitu sebesar 0,130%. Berat badan mencit jantan galur wistar dengan umur 8-10 minggu berkisar 25-30 g sebelum dilakukan pengujian dengan berbagai perlakuan. Pada kelompok kontrol, positif, dan perlakuan secara fisik terlihat sehat ditandai dengan warna bulu putih seperti beludru dan ekor berwarna merah muda. Mencit pada kelompok negatif terlihat secara fisik bulu berwarna kusam dan kurang aktif bergerak, ini menandakan mencit dalam kondisi kurang sehat yaitu kondisi diabetes mellitus.

Tabel 2 memperlihatkan bahwa berat badan mencit percobaan pada perlakuan P<sub>2</sub> mengalami kenaikan paling rendah yaitu sebesar 0,1304%. Hal ini dikarenakan adanya induksi streptozotocin dengan dosis 180 mg/kg berat

badan yang mengakibatkan mencit dalam keadaan diabetes mellitus tipe 1 yang disebabkan hilangnya fungsi sel beta pankreas. Pada keadaan diabetes mellitus, glukosa yang ada di dalam pembuluh darah tidak dapat diserap sel-sel tubuh dan masuk ke dalam jaringan adiposa (Arora, dkk., 2009). Sel-sel tubuh menjadi kekurangan energi sehingga merangsang peningkatan produksi glukagon melalui perombakan jaringan lemak sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan pada tubuh sehingga mengakibatkan seseorang akan tampak sangat kurus karena kehilangan berat badan yang drastis (Helmawati, 2014). Selain itu penurunan berat badan disebabkan karena tubuh tidak mampu memanfaatkan energi secara optimal meskipun kadar glukosa dalam darah sangat tinggi sehingga energi diperoleh melalui peningkatan katabolisme protein (Erwin, dkk., 2012).

Kelompok mencit P<sub>4</sub> (kelompok perlakuan) mengalami kenaikan setelah 4 minggu masa penelitian yang menandakan mencit sudah dalam keadaan sehat. Mencit dengan perlakuan P<sub>3</sub> (kelompok positif) adalah kelompok mencit dengan kenaikan berat badan paling tinggi. Hal ini karena adanya peran polisakarida larut air bengkung yang memperbaiki kerja usus dan kesehatan usus sehingga memperbaiki penyerapan zat-zat gizi makanan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Lunn dan Buttriss (2007) bahwa serat larut itu dapat membentuk gel ketika tersedia dengan air dalam perut dan usus halus. Gel yang terbentuk memperlambat pengosongan perut, mempercepat waktu transit di usus halus, dan memperbaiki proses penyerapan nutrisi.

Waktu periodik penimbangan berat badan terhadap berat badan memberikan pengaruh berbeda tidak nyata ( $P>0,05$ ) terhadap berat badan mencit percobaan, sehingga uji LSR tidak dilanjutkan. Interaksi antara jenis perlakuan dan waktu periodik penimbangan berat badan memberikan pengaruh berbeda tidak nyata ( $P>0,05$ ) terhadap persentase kenaikan berat badan mencit percobaan, sehingga uji LSR tidak dilanjutkan.

#### Efek hipoglikemik Polisakarida Larut Air (PLA) bengkung

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa jenis perlakuan memberikan pengaruh terhadap kadar glukosa darah mencit percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh jenis perlakuan terhadap kadar glukosa darah mencit percobaan selama 4 minggu

Kelompok Perlakuan	Kadar glukosa darah (mg/dL)
P <sub>1</sub> = Kelompok kontrol	115,50 <sup>bB</sup>
P <sub>2</sub> = Kelompok negatif	152,00 <sup>aA</sup>
P <sub>3</sub> = Kelompok positif	119,95 <sup>bB</sup>
P <sub>4</sub> = Kelompok perlakuan	117,60 <sup>bB</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf 5% (huruf kecil) dan berbeda sangat nyata pada taraf 1% (huruf besar).

Tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan P<sub>2</sub> (kelompok negatif) memiliki kadar glukosa darah yang paling tinggi yaitu 152,00 mg/dL dan paling terendah terdapat pada perlakuan P<sub>1</sub> (kelompok kontrol) yaitu 115,50 mg/dL. Mencit perlakuan P<sub>1</sub> (kelompok kontrol) merupakan mencit normal yang hanya diberikan akuades secara oral, tanpa induksi streptozotocin dan pemberian PLA bengkung. Kadar glukosa darah mencit perlakuan P<sub>1</sub> (kelompok kontrol) dianggap sebagai pembandingan yang normal, kadar glukosa darah pada kelompok kontrol sebesar 115,5 mg/dL setelah 28 hari, dimana kadar glukosa darah pada kondisi diabetes yaitu >126 mg/dL (Purnamasari, dkk., 2014; Helmawati, 2014).

Kadar glukosa darah mencit pada P<sub>2</sub> (kelompok negatif) yang telah diinduksi streptozotocin dan diberikan aquadest secara oral selama 28 hari mengalami kenaikan pada minggu ke-1 namun mengalami penurunan pada minggu ke-2. Akan tetapi hingga minggu ke-4 mencit dengan perlakuan P<sub>2</sub> (kelompok negatif) masih dalam kondisi diabetes dengan rata-rata kadar glukosa puasa sebesar >126 mg/dL yaitu 149 mg/dL. Hal ini terjadi karena adanya induksi streptozotocin 180 mg/kg berat badan yang berperan dalam merusak sel  $\beta$  pankreas sehingga pankreas tidak mampu memproduksi hormon insulin dengan optimal (Rowland dan Bellush, 1989; Wilson dan LeDoux, 1989). Insulin berperan dalam meningkatkan pengambilan

glukosa darah dan disimpan dalam bentuk glikogen, jika insulin tidak diproduksi secara optimal glukosa akan tetap di dalam darah akibatnya kadar glukosa darah meningkat (Squires, 2003).

Perlakuan P<sub>4</sub> (kelompok perlakuan) memiliki kadar glukosa darah yang mendekati mencit dengan perlakuan P<sub>1</sub> (kelompok kontrol) dan P<sub>3</sub> (kelompok positif). Kadar glukosa darah mencit dengan perlakuan P<sub>4</sub> (kelompok perlakuan) kembali dalam keadaan normal dalam 28 hari yaitu 117,6 mg/dL, dimana kadar glukosa darah mencit yang mengalami diabetes adalah sebesar >126 mg/dL. Adanya pemberian polisakarida larut air bengkung yang diekstraksi dengan laru tempe pada kelompok mencit perlakuan P<sub>4</sub> (kelompok perlakuan) menunjukkan kerja polisakarida larut air bengkung yang dapat menurunkan kadar glukosa darah. Hal ini sesuai dengan Weickert dan Pfeiffer (2008) yang menyatakan bahwa serat makanan dapat menurunkan glukosa postprandial yang berkaitan dengan sifatnya yang membentuk gel dan larutan yang kental. Serat makanan dapat menghambat pengosongan perut sehingga dapat mengatur penyerapan glukosa.

#### Pengaruh waktu periodik pengujian terhadap kadar glukosa darah mencit percobaan

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa waktu periodik memberikan

pengaruh terhadap rata-rata persentase kadar glukosa darah hewan percobaan. Hasil LSR terhadap pengaruh waktu periodik pengujian

kadar glukosa darah terhadap kadar glukosa darah mencit percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh waktu periodik pengujian terhadap kadar glukosa darah mencit percobaan

Waktu pengujian	Kadar glukosa darah (mg/dL)
M <sub>1</sub> = Minggu ke-1	136,00 <sup>aA</sup>
M <sub>2</sub> = Minggu ke-2	127,60 <sup>bA</sup>
M <sub>3</sub> = Minggu ke-3	123,45 <sup>bcB</sup>
M <sub>4</sub> = Minggu ke-4	118,00 <sup>cB</sup>

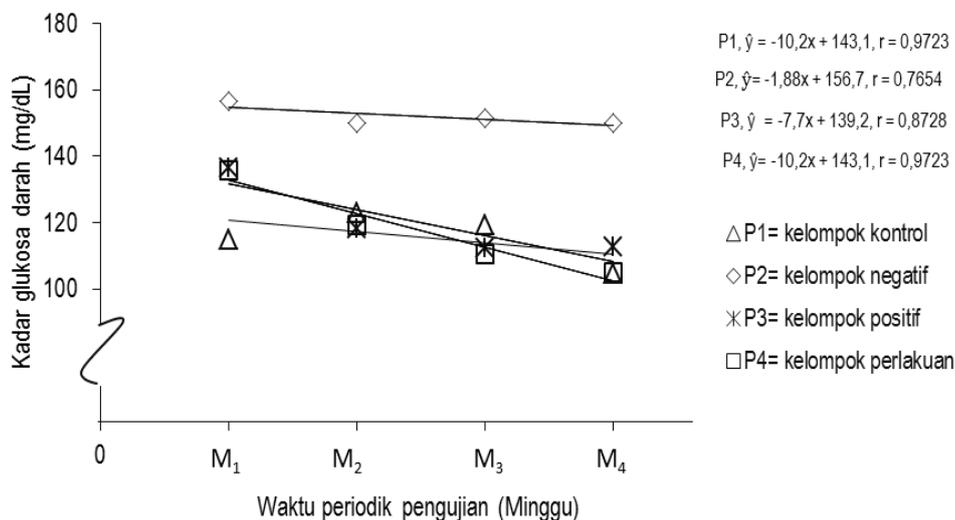
Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata pada taraf 5% (huruf kecil) dan berbeda sangat nyata pada taraf 1% (huruf besar).

Tabel 4 menunjukkan bahwa perlakuan M<sub>1</sub> (minggu ke-1) memiliki kadar glukosa darah yang paling tinggi yaitu 136,00 mg/dL dan paling terendah terdapat pada perlakuan M<sub>4</sub> (minggu ke-4) yaitu 118,00 mg/dL. Kadar glukosa darah mencit pada minggu ke-1 adalah sebesar 136 mg/dL yang merupakan kadar glukosa darah paling tinggi dan semakin lama akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada minggu ke-1 dan minggu ke-2 masih pada masa adaptasi terhadap kandang dan adanya pemberian perlakuan secara oral. Setelah minggu ke-3 maka yang berperan adalah polisakarida larut air bengkung. Polisakarida Larut Air (PLA) bengkung yang di ekstraksi dengan laru tempe mampu bekerja dalam memperbaiki proses penyerapan nutrisi dan memperlama proses pengosongan lambung sehingga dapat mengatur

proses penyerapan glukosa. Hasil penelitian Harijono, dkk. (2012) menunjukkan bahwa efek hipoglikemik paling tinggi adalah ekstraksi PLA gembili dengan laru tempe dibandingkan ekstraksi dengan papain dan air setelah masa penelitian 28 hari.

**Pengaruh interaksi antara jenis perlakuan dan waktu periodik pengujian terhadap kadar glukosa darah mencit percobaan**

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa jenis perlakuan dan waktu periodik pengujian memberikan pengaruh terhadap kadar glukosa darah mencit percobaan. Hubungan antara jenis perlakuan dan waktu periodik pengujian terhadap kadar glukosa darah mencit percobaan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara jenis perlakuan dan waktu periodik pengujian terhadap kadar glukosa darah mencit percobaan (M<sub>1</sub>= minggu ke-1, M<sub>2</sub>= minggu ke-2, M<sub>3</sub>= minggu ke-3, M<sub>4</sub>= minggu ke-4).

Penurunan kadar glukosa darah yang paling tajam terdapat pada perlakuan P<sub>4</sub> (Kelompok perlakuan) yaitu induksi streptozotocin 180 mg/kg berat badan dan pemberian PLA bengkung sebanyak 400 mg/kg berat badan diikuti oleh perlakuan P<sub>3</sub> (Kelompok positif) yaitu pemberian PLA bengkung sebanyak 400 mg/kg berat badan. Dari Gambar 1 menunjukkan bahwa kadar glukosa darah mencit hiperglikemia pada perlakuan P<sub>4</sub> (Kelompok perlakuan) kembali normal (<126 mg/dL) setelah pemberian PLA bengkung selama 2 minggu.

Ekstraksi PLA dengan menggunakan larutempe mempunyai kemampuan penurunan kadar glukosa darah yang paling tinggi dibandingkan ekstraksi PLA dengan papain dan air (Harijono, 2012). PLA yang merupakan serat larut air yang dapat menurunkan glukosa postprandial yang berkaitan dengan sifatnya yang membentuk gel dan larutan kental. Larutan tersebut dapat membentuk viskositas yang tinggi yang dapat menghambat penyerapan gula di pencernaan akibat gula terperangkap dalam struktur gel yang lemah (Weickert dan Pfeiffer, 2008). Didukung oleh hasil penelitian Lee, dkk. (2007) menunjukkan bahwa proses fermentasi *Dioscorea* dengan menggunakan kapang merah *Monascus purpureus* NTU 568 menghasilkan efek hipokolesterolemik yang lebih tinggi dibandingkan tanpa fermentasi yang diduga disebabkan pembentukan senyawa bioaktif *monacolin K*. Proses ekstraksi PLA bengkung dengan menggunakan kapang tempe diduga kuat mengakibatkan pembentukan senyawa bioaktif yaitu isoflavon aglikon yang ikut berperan menurunkan kadar glukosa darah.

### KESIMPULAN

1. Pada uji toleransi glukosa terbukti bahwa polisakarida larut air (PLA) bengkung dapat menghambat penyerapan glukosa ke dalam darah yang ditandai dengan penurunan kadar glukosa darah secara signifikan ( $p < 0,01$ ).
2. Kelompok perlakuan (P<sub>4</sub>) yaitu induksi streptozotocin 180 mg/kg berat badan dan pemberian polisakarida larut air bengkung 400 mg/kg berat badan merupakan kelompok mencit percobaan yang mengalami penurunan kadar glukosa darah yang paling signifikan ( $P < 0,01$ ) dibandingkan dengan kelompok lain.
3. Hasil penelitian menunjukkan PLA bengkung dengan dosis 400 mg/kg berat badan secara signifikan ( $P < 0,01$ ) dapat

menurunkan kadar glukosa darah dan meningkatkan berat badan selama 4 minggu pada mencit yang diinduksi streptozotocin.

4. Mekanisme penurunan kadar glukosa darah oleh polisakarida larut air (PLA) bengkung berkaitan sifat dari PLA yang mampu membentuk gel di dalam pencernaan yang dapat memperlambat pengosongan perut, mempercepat waktu transit di usus halus, mengendalikan penyerapan glukosa didalam darah, serta sebagai prebiotik sehingga mampu menurunkan kadar glukosa darah.

### DAFTAR PUSTAKA

- Angulo-Bejarono, P. I., Verdugo-Montoya, N. M., Cuevas-Rodriguez, E. O., Mila'n-Carrillo, J., Escobedo, R. M., Lopez-Valenzuela, J. A., Garzo'n-Tiznado, J. A., dan Moreno, C. R. 2008. Tempeh flour from chickpea (*Cicer arietinum* L.) nutritional and physicochemical properties. *Food Chem.* 106: 106-112.
- Anonimus. 2010. Susu kedelai, yoghurt kedelai, saus atau sambel cabai, awetan/manisan jahe, larutempe. *Tekno Pangan dan Agroindustri*. Vol. 1, No. 1: 8-9.
- Apriyantono, A., Fardiaz, D., Puspitasari, N. L., Sedarnawati, dan Budiyanto, S. 1989. *Petunjuk Laboratorium Analisis pangan*. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, Institut Pertanian Bogor.
- Arora, S., Ojha, S. K., dan Vohora, D. 2009. Characterisation of streptozotocin induced diabetes mellitus in Swiss Albino Mice. *Global Journal of Pharmacology*. 3(2): 81-84.
- Chronakis, I. S. 1998. On The Molecular Characteristics, Compositional Properties and Structural-Functional Mechanisms of Maltodextrins: A Review. *Critical Review in Food Science*. 38(7) : 502-507.
- Dokic, L., Jakovljevic, J., dan Dokic, P. 2004. Relation between viscous characteristics and dextrose equivalent of malto dextrins. *Faculty of Technology-University of Novi Sad, Serbia and Montenegro. Starch-Journal*.56: 520-525.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., dan Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and

- related substances. *Anal. Chem.* 28: 350-356.
- Erwin, Etriwati, dan Rusli. 2012. Mencit (*Mus musculus*) Galur Balb-C yang diinduksikan Streptozotocin berulang sebagai hewan model diabetes mellitus. *Jurnal Kedokteran Hewan.* 6(1) : 47-50.
- Guyton, A. C. dan Hall, J. E. 2006. *Text Book of Medical Physiology.* 11<sup>rd</sup>ed W. B Saunders Company, London.
- Hanachi, P., R. H. Moghadam, dan A. L. Lattifah. 2009. Investigation of lipid profiles and lipid peroxidation in patients with Type-2 Diabetes. *European J. Of sci. Res.* 28(1) : 6-13.
- Harijono, Estiasih, T., Sunarharum, W. B., dan Suwita, I. K. 2012. Efek hipoglikemik polisakarida larut air gambili (*Dioscorea esculenta*) yang diekstrak dengan berbagai metode. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan.* 23(1) : 1-8.
- Helmawati, T. 2014. *Hidup Sehat Tanpa Diabetes Cara Pintar Mendeteksi, Mencegah, dan Mengobati Diabetes.* Notebook, Yogyakarta.
- Hilman. A. 2012. Karakteristik polisakarida larut air (PLA) umbi bengkuang (*Pachyrrhizus erosus* L.) Dari berbagai metode ekstraksi. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Hokputsa, S., Gerddit, W., Pingsamart, S., Inngjerdngen, K., Heinze, T., Koschella, A., Harding, S. E., dan Paulsen, B. S. 2004. Water-soluble polysaccharides with pharmaceutical importance from durian rinds (*Durio ziberthinuss Murr.*) isolation, fractionation, characterisation, and bioactivity. *Carbohydrate Polymers.* 56: 471-481.
- Izumi, K., Yamada, K. A., Matsukawa, M., dan Zorumski, C. F. 2003. Effect of insuline on long-term potentiation in hippocampal slices from diabetic rats. *Journal Diabetologia.* 46: 1007-1012.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2013. *Diabetes Mellitus Penyebab Kematian Nomor 6 di Dunia: Kemenkes Tawarkan Solusi CERDIK Melalui Posbindu.* <http://www.depkes.go.id> (26 September 2015).
- Kusnandar, F. 2010. *Kimia Pangan Komponen Makro.* Penerbit Dian Rakyat, Jakarta.
- Lingga, L. 2010. *Cerdas Memilih Sayuran.* Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Lunn, J. dan Buttriss, J. L. 2007. Carbohydrates and dietary fibre. *Nutrition Bulletin.* 32: 21-64.
- Mortensen, A., Kulling, S. E., Schwart, H., Rowland, I., Ruefer, C. E., Rimbach, G., Cassidy, A., Magee, P., Millar, J., Hall, W. L., Birkved, F. B., Sorensen, I. K., dan Sontag, G. 2009. Analytical and compositional aspect of isoflavones in food and their biological effect. *Mol. Nutr. Food Res.* 53.
- Prankongpan, T., A. Nitithamyong, dan P. Luangpituksa. 2002. Extraction and application of dietary fiber and cellulosa from pineapple cores. *Journal of Food Science.* 67: 2213-2218.
- Purnamasari, E., Yerizal, E., dan Efrida. 2014. Pengaruh pemberian aspartam terhadap kadar glukosa darah tikus diabetes mellitus diinduksi aloksan. *Jurnal Kesehatan Andalas.* 3(3) : 370-375.
- Pusat Inovasi LIPI. 2011. *Bioproses Produksi Minyak Kelapa Menggunakan Laru Tempe.* <http://www.inovasi.lipi.go.id> (20 September 2015).
- Rowland, N. E. dan L. L. Bellush. 1989. Diabetes mellitus: Stress, neurochemistry, and behavior. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews.* 13(4): 99-206.
- Ruzaidi, A., A. Maleyki, I. Amin, A. G. Nawalyah, H. Muhajir, M. B. S. M.J. Pauliena, dan M. S. Muskinah, 2008. Hypoglycaemic properties of Malaysian cocoa (*Theobroma cacao*) polyphenols-rich extract. *International Food Research Journal.* 15(3): 41-44.
- Sirait, M. dan Hargono, D. 1991. *Penapisan Farmakologi, Pengujian Fitokimia, dan Pengujian Klinik.* Yayasan Pengembangan Obat Bahan Alam Phyto Medica, Pusat Pemeriksaan Obat dan Makanan Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Somogyi, M. J. 1952. Notes on sugar determination. *J. Biol. Chem.* 195(1): 19-29.

- 
- 
- Squires, J. E. 2003. Applied Animal Endocrinology. UK: CABI Publishing. 109.
- Standar Nasional Indonesia (06-1451-1989). 1989. Dekstrin untuk Industri Non-Pangan. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Sukardjo. 2002. Kimia Fisika. Rineka Cipta, Jakarta.
- Sulistiyani, E., Barid, I., dan Isnaini, K. 2007. Pengaruh stressor rasa nyeri pada waktu perdarahan tikus wistar jantan. Denta Jurnal Kedokteran Gigi FK UHT. 1(2): 81-84.
- Tensiska, 2008. Serat Makanan. Makalah. Jurusan Teknologi Industri Pangan. Fakultas Teknologi Industri Pertanian. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Wada, T., Sugatani, J., Terada, E., Ohguchi, M., dan Miwa, M. 2005. Physicochemical characterization and biological effects of inulin enzymatically synthesized from sucrosae. Journal of Agriculture Food Chem. 53: 1246-1253.
- Weickert, M. O. dan Pfeiffer. 2008. Metabolic effect of dietary fiber consumption and prevention of diabetes. American Society for Nutrition. Journal Nutrition. 138: 439-442.
- Wilson G. L. dan LeDoux, S. P. 1989. The role of chemical in the etiology of diabetes mellitus. Journal of Toxicologic Pathology. 17 : 357-362.
- Wurzbug, O. B. 1986. Modified Starches: Properties and Uses. CRC Press, Inc. Boca Raton. Florida.
- Yuliasih, I., Irawadi, T. T., Sailah, I., Pranamuda, H., Setyowati, K., dan Sunarti, T. C. 2011. Pengaruh proses fraksinasi pati sagu terhadap karakteristik fraksi amilosa. J. Tek. Ind. Pert. 17(1) : 29-36.