

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

1. Diabetes Melitus

a. Definisi

Diabetes Melitus (DM) merupakan penyakit kronis yang terjadi akibat adanya kerusakan pada organ pankreas sehingga sekresi insulin terganggu (WHO, 2023). Penyakit ini dapat meningkatkan risiko terjadinya berbagai jenis penyakit, seperti kanker hati, pankreas, ovarium, *colorectal*, paru-paru, payudara, saluran kemih, gagal ginjal, gagal jantung, gangguan mental, penyakit pencernaan, pneumonia, dan penyakit lainnya (Martín-Peláez *et al.*, 2020). Terdapat beberapa indikator yang digunakan dalam memeriksa diabetes melitus, yaitu HbA1C, Glukosa Darah Puasa (GDP), dan Glukosa darah *post prandial* (PERKENI, 2021). Berikut merupakan indikator darah untuk diagnosis DM dan prediabetes dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1

Kadar Tes Laboratorium Darah untuk Diagnosis Diabetes Melitus

Kategori	HbA1C	GDP (mg/dL)	Glukosa
			Plasma 2 Jam Setelah TTGO (mg/dL)
Diabetes	$\geq 6,5$	≥ 126	≥ 200
Pre-Diabetes	5,7-6,4	100-125	140-199
Normal	$< 5,7$	70-99	70-139

Sumber: Perkumpulan Endokrinologi Indonesia (PERKENI) (2021)

b. Klasifikasi

Diabetes Melitus (DM) berdasarkan penyebabnya terbagi menjadi 4, yaitu DM tipe 1, DM tipe 2, DM gestasional, dan DM tipe lain (PERKENI, 2021). Diabetes Melitus tipe 1 adalah diabetes yang disebabkan oleh kerusakan permanen pada sel beta pankreas karena adanya proses autoimun yang menyebabkan defisiensi sekresi insulin absolut (Cheng *et al.*, 2024). Diabetes tipe 2 adalah diabetes karena terjadinya resistensi insulin, hiperglikemia, dan kerusakan insulin yang disekresikan pankreas dengan penyebab umum gaya hidup atau pola makan yang tidak sehat (Aga *et al.*, 2019). Pola makan dan gaya hidup tidak sehat yang dimaksud dalam hal ini adalah pola makan tinggi asupan gula, disertai dengan kurangnya aktivitas fisik. Sedangkan Diabetes Gestasional adalah kondisi hiperglikemia yang terjadi pada saat kehamilan (Fonda dan Novida, 2021), dan Diabetes tipe lain yang penyebabnya belum diketahui selain dari tiga tipe yang telah disebutkan. Semua tipe diabetes tersebut harus senantiasa menjaga kadar gula darahnya agar tetap dalam batas normal, salah satunya adalah dengan menghindari makanan tinggi gula.

c. Etiologi

Diabetes Melitus dapat disebabkan oleh berbagai faktor yang saling berkaitan satu sama lain seperti faktor genetik dan faktor lingkungan, adanya kerusakan pada sekresi insulin dan penyerapan insulin, kelainan pada mitokondria, serta kondisi lain yang

memengaruhi metabolisme glukosa pada tubuh (Lestari *et al.*, 2021). Berikut merupakan etiologi diabetes melitus menurut KEMENKES RI (2020):

1) Diabetes Melitus Tipe 1 (DMT1)

Secara umum DMT1 disebabkan karena adanya kerusakan absolut pada sel beta pankreas sehingga menyebabkan defisiensi insulin absolut. Berikut merupakan beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan sel beta pankreas :

a) Faktor Genetik

Lebih dari 50% penderita diabetes tipe 1 memiliki riwayat keluarga dengan penyakit yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun diabetes tipe 1 tidak diwariskan secara langsung, individu dapat mewarisi predisposisi genetik yang meningkatkan kerentanannya terhadap penyakit ini.

b) Faktor Lingkungan

Faktor eksternal, seperti infeksi virus dan paparan toksin tertentu, diketahui dapat memicu respons autoimun yang menyebabkan destruksi sel β pankreas. Akibatnya, sistem imun tubuh menyerang dan menghancurkan sel-sel penghasil insulin, yang pada akhirnya menyebabkan defisiensi insulin.

c) Faktor Imunologis

Diabetes tipe 1 sering kali melibatkan mekanisme autoimun, di mana sistem kekebalan tubuh secara keliru mengenali sel β

pankreas sebagai benda asing, lalu menyerangnya. Proses ini mencerminkan adanya gangguan dalam regulasi sistem imun tubuh.

2) Diabetes Melitus Tipe 2

Diabetes tipe ini merupakan bentuk paling umum, dan umumnya terjadi akibat resistensi insulin, yaitu kondisi jaringan tubuh tidak merespons insulin secara efektif. Selain itu, terdapat penurunan relatif dalam produksi insulin oleh sel β pankreas, yang menyebabkan kadar glukosa darah meningkat secara kronis (Galicia-Garcia *et al.*, 2020).

3) Diabetes Melitus Gestasional

Diabetes gestasional adalah kondisi hiperglikemia yang terjadi selama kehamilan, umumnya antara minggu ke-24 hingga ke-28. Gangguan ini disebabkan oleh perubahan hormonal yang memengaruhi sensitivitas tubuh terhadap insulin. Meskipun bersifat sementara, diabetes gestasional tetap memerlukan pemantauan karena dapat meningkatkan risiko komplikasi pada ibu dan janin.

d. Patofisiologi

1) Patofisiologi Diabetes Tipe 1

Berdasarkan perjalanan penyakitnya, reaksi autoimun pada penderita DMT1 umumnya dipacu karena adanya kelainan genetik serta faktor lain seperti infeksi virus dan stres oksidatif yang lama kelamaan dapat memicu terjadinya reaksi autoimun dan

menyebabkan defisiensi insulin absolut (Herrera-Ojeda *et al.*, 2025; Tas *et al.*, 2024). Menurut Lucier dan Mathias (2024) proses patologis dari DMT1 secara umum berkembang melalui tiga tahap. Tahap pertama (preklinis) ditandai oleh kerusakan pada sel β pankreas akibat proses autoimun, pada fase ini kadar glukosa darah masih normal kadar glukosa darah masih normal tetapi antibodi GAD65, IA-2, atau ZnT8 mengalami kenaikan dan sudah dapat terdeteksi. Tahap kedua, terjadinya penurunan fungsi sel β pankreas yang menyebabkan terjadinya gangguan metabolisme glukosa seperti GDS meningkat, intoleransi glukosa meningkat, dan kadar HbA1c meningkat antara 5,7%-6,4% meskipun masih belum menimbulkan gejala klinis. Tahap ke tiga (fase onset klinis), pada fase ini terjadi gejala klinis khas pada penderita DM seperti poliuria, polidipsia, polifagia, penurunan berat badan, kelelahan, dan kelemahan.

2) Diabetes Melitus Tipe 2

Diabetes Melitus Tipe 2 (DMT2) disebabkan karena 2 faktor utama yaitu kerusakan insulin yang disekresikan oleh sel β pankreas dan kurangnya kemampuan sel tubuh untuk merespons insulin secara normal. Kedua faktor tersebut biasanya terjadi karena obesitas, gaya hidup sedentari, pola makan yang tidak sehat, stres oksidatif, dan inflamasi kronis yang mengganggu sinyal insulin pada sel. Pada fase awal, jaringan tubuh seperti otot, hati, dan jaringan adiposa

menjadi kurang responsif terhadap insulin yang lama kelamaan akan berubah menjadi resistensi insulin. Tubuh mencoba untuk mengimbangi kurangnya respon insulin sel dengan meningkatkan produksi insulin oleh sel β pankreas. Namun, seiring dengan berjalannya waktu kemampuan sel β pankreas semakin menurun dan resistensi insulin semakin meningkat (Banday *et al.*, 2020; Galicia-Garcia *et al.*, 2020).

3) Diabetes Melitus Gestasional

Diabetes Melitus Gestasional (DMG) merupakan DM yang terjadi pada wanita hamil. DM ini biasanya terjadi pada trisemester 2 atau ketiga dengan faktor penyebab utamanya adalah perubahan hormonal perempuan selama kehamilan. Selama kehamilan, hormon estrogen, progesteron, kortisol, dan hormon *Human placenta lactogen* yang mengalami perubahan karena kehamilan menyebabkan resistensi insulin untuk mencukupi kebutuhan energi janin. Pada sebagian wanita dengan faktor risiko DM seperti obesitas, usia lanjut, atau intoleransi glukosa, pankreas tidak mampu mengimbangi peningkatan resistensi insulin dengan sekresi insulin adekuat sehingga menyebabkan terjadinya hiperglikemia. Pada umumnya, DMG akan membaik setelah persalinan tetapi kondisi ini dapat meningkatkan risiko terjadinya DM2 di kemudian hari (Banday *et al.*, 2020).

e. Tanda dan Gejala

Diabetes Melitus dapat diketahui dengan memerhatikan gejala-gejala penyerta. Terdapat beberapa gejala umum DM meliputi polidipsia (rasa haus berlebih akibat kehilangan cairan), polifagia (rasa lapar karena glukosa tidak terserap sel), poliuria (sering buang air kecil akibat glukosuria), dehidrasi, kelelahan, penurunan berat badan, serta gangguan penglihatan, kram, konstipasi, dan infeksi seperti kandidiasis (Mane *et al.* 2012, Baynest 2015, Kharroubi dan Darwish 2015 dalam Hardianto, 2021). Selain itu penderita DM dapat dilihat melalui nilai biokimia GDP, GDS, dan HbA1C yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan orang normal.

f. Dampak

Kondisi DM sangat memengaruhi kesehatan pasien secara signifikan. Hiperglikemia yang dialami oleh penderita DM dapat menyebabkan terjadinya kerusakan dinding pembuluh darah serta saraf (mikroangiopati) yang menyebabkan terjadinya peningkatan risiko retinopati, nefropati, dan neuropati perifer (Yapilar dan Gurler, 2024). Tidak hanya itu, kondisi DM juga terbukti dapat memengaruhi kualitas hidup penderita. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kolarić (2022) menyebutkan bahwa sepertiga dari total 382 responden penderita DMT2 yang mengalami penyakit penyerta seperti nefropati, neuropati, dan retinopati terbukti menurunkan fungsi fisik, psikologis, sosial, dan lingkungan secara signifikan. Selain itu, hasil studi Tan *et al.* (2024) menunjukkan bahwa pasien DM dengan komplikasi penyakit penyerta

akibat DM mengalami gangguan mental terutama yang mengalami gangrene. Hal ini menunjukkan bahwa penyakit DM sangat berdampak besar bagi kesehatan dan kualitas hidup penderita DM.

2. Diet Diabetes Melitus

Pengaturan makan dan jenis makanan yang dikonsumsi oleh penderita diabetes sangat memengaruhi kondisi kesehatannya. Menurut (Setyaningrum dan Nissa, 2021), beberapa tujuan dari diet diabetes melitus dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Mempertahankan kadar glukosa dalam darah menjadi normal
- b. Menurunkan dan mempertahankan kadar kolesterol dalam darah
- c. Meningkatkan derajat kesehatan secara komprehensif melalui gizi yang optimal.
- d. Mempertahankan atau mencapai berat badan normal.
- e. Dapat melakukan pekerjaan sehari-hari seperti biasanya.

Fokus utama diet untuk penderita diabetes adalah mengatur asupan makanan dan minuman, mengatur pola makan, serta menjaga kadar glukosa darah penderita diabetes melitus tetap dalam batas normal (Arisandi *et al.*, 2020). Pemenuhan diet bagi penderita diabetes melitus dapat dilakukan berdasarkan terdapat pedoman 3J dalam melaksanakannya, yaitu jadwal, jenis, dan jumlah. Pedoman 3J menunjukkan bahwa diet yang dilakukan mengharuskan pasien untuk mengatur jadwal atau pola makan, memilih jenis sumber energi yang dipilih, serta menentukan jumlah energi yang dibutuhkan oleh tubuh penderita diabetes melitus agar diet yang dilakukan

dapat memberikan manfaat yang maksimal. Pada dasarnya prinsip pengaturan makan bagi penderita diabetes melitus hampir sama dengan rekomendasi makan bagi masyarakat umum yaitu gizi seimbang sesuai dengan kebutuhan kalori dan zat gizi masing-masing individu (PERKENI, 2021).

Jadwal makan bagi penderita sangat memengaruhi hasil dari diet yang dilakukan, semakin patuh penderita diabetes melitus dengan jadwal dietnya maka semakin optimal hasil yang didapatkan. Jadwal makan untuk penderita diabetes melitus dilakukan di waktu yang sama setiap harinya dengan memberi jarak 3 jam antara makan utama dan makan selingan. Makanan utama dikonsumsi pada pukul 7 pagi, 12 siang, dan 6 sore, sedangkan camilan disajikan pada pukul 10 pagi, 3 sore, dan 9 malam (Khasanah *et al.*, 2021).

Bahan makanan yang disarankan untuk diet penderita diabetes melitus meliputi sumber karbohidrat kompleks seperti nasi, roti, mi, kentang, singkong, ubi, dan sagu; sumber protein hewani seperti ikan, ayam tanpa kulit, dan telur; sumber protein nabati seperti tempe, tahu, serta kacang-kacangan. Sayuran yang dianjurkan termasuk kangkung, wortel, buncis, taoge, dan kacang panjang, sedangkan buah-buahan yang direkomendasikan antara lain pisang, jeruk, rambutan, apel, dan pepaya. Penggunaan gula pengganti nonenergi seperti stevia atau sorbitol juga dianjurkan, dan konsumsi makanan manis, berlemak, serta bersantan sebaiknya dikurangi. Cara pengolahan makanan yang lebih baik adalah dengan dipanggang,

dikukus, disetup, direbus, atau dibakar (Almatsier, 2010 dalam Bangun *et al.*, 2020).

Jumlah makanan yang dikonsumsi oleh penderita diabetes harus disesuaikan dengan kebutuhan energi harian masing-masing individu. Asupan karbohidrat yang direkomendasikan adalah 45-65% dari total energi yang dikonsumsi, sementara lemak disarankan sekitar 20-25% dan tidak boleh melebihi 30% dari total energi. Protein diperlukan sebesar 10-20% dari total asupan energi (PERKENI, 2021).

3. Pangan Fungsional

Berdasarkan definisi pangan fungsional terbaru yang dikeluarkan oleh *Functional Food Center/Functional Food Institute*, pangan fungsional didefinisikan sebagai makanan alami atau olahan yang mengandung senyawa bioaktif yang diketahui atau tidak diketahui yang dalam jumlah tertentu, efektif, tidak toksik, serta memberikan manfaat kesehatan yang telah terbukti secara klinis dan terdokumentasi untuk pencegahan, pengelolaan, atau pengobatan penyakit kronis (Martirosyan dan Singh, 2015). Komponen bioaktif dalam pangan fungsional meliputi karbohidrat, serat pangan, vitamin, asam lemak, sterol nabati, poliol, fitoestrogen, protein kacang, sulfida, mineral, asam lemak omega 3, dan probiotik (Dixit *et al.*, 2023). Meta analisis yang dilakukan oleh (Mao *et al.*, 2021) menunjukkan bahwa serat larut air dan serat yang berasal dari makanan alami terbukti efektif dalam meningkatkan kontrol glikemik dan sensitivitas insulin pada pasien yang menderita DM2. Hal ini menunjukkan bahwa

kandungan bioaktif yang biasa terkandung dalam pangan fungsional terbukti memiliki manfaat positif bagi kesehatan.

Pangan fungsional memiliki lingkup yang cukup luas meliputi produk pangan fungsional berbasis susu, berbasis sereal, berbasis buah dan sayur, serta berbasis daging dan *seafood* (Chhikara dan Panghal, 2022). Terdapat 3 klasifikasi dalam pangan fungsional, yaitu pangan fungsional pertama, kedua, dan ketiga yang meliputi suplemen, makanan utuh, dan makanan inovasi terbaru (Chhikara dan Panghal, 2022). Pangan fungsional pertama dikenal sebagai golongan pangan natural (*conventionally use food*) yaitu pangan yang tidak mengalami modifikasi dan biasanya dikonsumsi secara utuh seperti sayuran, buah, ikan, susu, dan kacang-kacangan. Pangan fungsional kedua yaitu pangan yang dimodifikasi seperti diperkaya atau difortifikasi dengan kandungan gizi tertentu yang bermanfaat untuk kesehatan seperti kalsium, antioksidan, serat, vitamin, sterol dan omega 3 (Hasler *et al*, 2009 dalam Essa *et al.*, 2023). Kemudian, pangan fungsional ketiga adalah prebiotik seperti inulin dan oligofruktosa (Essa *et al.*, 2023).

Pangan fungsional memiliki beragam manfaat untuk kesehatan terutama dalam mencegah dan membantu menangani DM. Banyak penelitian menunjukkan bahwa konsumsi pangan fungsional terutama yang mengandung serat pangan, senyawa bioaktif, dan indeks glikemik rendah memberikan efek positif dalam mengontrol kadar gula darah pada penyakit DM. Penelitian yang dilakukan oleh Tzeng *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa konsumsi *Steady-fibre granule* (SGF) dapat meningkatkan kontrol

glikemik dan sensitivitas insulin pada tikus DM serta dapat menjadi pilihan sebagai pangan fungsional untuk membantu manajemen DM dalam kehidupan sehari-hari. Tidak hanya itu studi meta analisis yang dilakukan oleh Xie *et al.* (2021) menyimpulkan bahwa suplementasi serat larut air dapat mengurangi *glycosylated hemoglobin* (HbA1c, glukosa darah puasa, insulin puasa, *homeostatic model assessment of insulin resistance*, *fructosamine*, *2-h postprandial plasma glucose*, dan Indeks Masa Tubuh) secara signifikan dibandingkan dengan diet kontrol pada pasien DM dengan dosis rekomendasi sebanyak 7,6-8,3 g per hari. Kedua penelitian tersebut menunjukan potensi kuat pangan fungsional terutama yang mengandung tinggi serat dan rendah indeks glikemik sebagai pangan fungsional yang aman dan berefek positif untuk penderita DM.

4. Serat

Serat adalah karbohidrat kompleks yang terdapat di dinding sel tumbuhan dan tidak dapat dicerna oleh tubuh tetapi dapat difermentasi di dalam usus besar (Carlsen dan Pajari, 2023). Terdapat dua jenis utama serat makanan: serat larut (*soluble fibre*) yang dapat larut dalam air, dan serat tidak larut (*insoluble fibre*) yang tidak dapat larut dalam (Xu dan Marques, 2022). Beberapa contoh serat larut meliputi gum, pektin, dan mukilase. Serat jenis ini banyak ditemukan dalam *haverhout*, kacang-kacangan, sayuran, dan buah-buahan. Serat larut memiliki kemampuan untuk mengikat asam empedu, sehingga dapat menurunkan risiko penyakit jantung koroner dan dislipidemia, serta mencegah kanker kolon dengan

mengikat dan mengeluarkan zat karsinogen dari usus (Cholifah dan Sokhiatun, 2022). Sementara itu, serat tidak larut, seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin, banyak terdapat dalam dedak beras, gandum, sayuran, dan buah-buahan. Serat jenis ini berperan dalam melancarkan proses defekasi, yang dapat membantu mencegah kondisi seperti konstipasi, hemoroid, dan divertikulosis (Cholifah dan Sokhiatun, 2022).

Konsumsi makanan tinggi serat terbukti sangat bermanfaat bagi penderita diabetes. Penderita DM direkomendasikan untuk mengonsumsi serat sebanyak 20-35 g per hari untuk membantu kontrol kadar glukosa darah (PERKENI, 2021). Serat memiliki mekanisme untuk menurunkan efisiensi penyerapan karbohidrat sederhana, yaitu dengan mengikat monosakarida dan membuangnya dengan bantuan serat larut air. Mekanisme ini menyebabkan turunnya risiko *insulin spike* sehingga tidak terlalu membebani pankreas (Yesmin *et al.*, 2018; Yulianti *et al.*, 2023). Selain itu, serat juga memiliki manfaat dalam menjaga penyerapan lemak dan kolesterol sehingga dapat mengurangi risiko penderita diabetes melitus untuk menderita penyakit kardiovaskular (Fu *et al.*, 2022). Berikut rekomendasi serat harian berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (2019) (Tabel 2.2).

Tabel 2. 2
Angka Kecukupan Gizi Serat

Kelompok Umur	Berat Badan (Kg)	Tinggi Badan (cm)	Serat (g)
Laki-laki 16 – 29 tahun	60	168	37

Kelompok Umur	Berat Badan (Kg)	Tinggi Badan (cm)	Serat (g)
30 – 49 tahun	60	166	36
50 – 64 tahun	60	166	30
65 – 80 tahun	58	164	25
80+ tahun	58	164	22
Perempuan			
16 – 18 tahun	52	159	29
19 – 29 tahun	52	159	32
30 – 49 tahun	56	158	30
50 – 64 tahun	56	158	25
65 – 80 tahun	53	157	22
80+ tahun	53	157	20

Sumber: KEMENKES RI (2019)

5. Indeks Glikemik

Indeks glikemik merupakan sebuah skala yang menunjukkan potensi menaikkan kadar glukosa darah per gram karbohidrat (Atkinson *et al.*, 2021). Indeks glikemik memiliki rentang besaran dari mulai 0-100, semakin tinggi nilai IG artinya semakin tinggi kemampuan bahan pangan tersebut menaikkan kadar glukosa darah (Sun *et al.*, 2022). Glukosa murni digunakan sebagai standar dalam pengukuran indeks glikemik dengan nilai IG sebesar 100 untuk 50 g glukosa kemudian dijadikan pembanding dengan pangan yang akan diuji sebanyak 50 g karbohidrat pada pangan uji (Vlachos *et al.*, 2020). Maka dari itu, IG dapat digunakan secara ilmiah untuk membantu memilih makanan yang tepat bagi penderita diabetes (Yuliatun *et al.*, 2023).

Indeks glikemik suatu pangan sangat dipengaruhi oleh berbagai aspek. Faktor-faktor yang memengaruhi indeks glikemik makanan meliputi metode pengolahan, rasio antara amilosa dan amilopektin, tingkat keasaman

dan tekanan osmotik, kandungan serat, lemak, dan protein, serta kandungan zat anti-gizi dalam makanan (Cahyani dan Purbowati, 2022). Terdapat 3 kategori indeks glikemik, yaitu tinggi ($IG \geq 70$), sedang ($IG 56-69$), dan rendah ($IG \leq 55$) (ISO, 2010 dalam Atkinson *et al.*, 2021).

Dalam mengukur indeks glikemik (IG) suatu pangan, terdapat beberapa metode yaitu secara *in vitro* dan *in vivo* (hewan uji dan manusia). Terdapat sejumlah kriteria khusus yang harus dipenuhi agar hasilnya akurat dan dapat kredibel. Menurut Brouns *et al.* (2005) dalam artikelnya *Glycemic Index Methodology*, pengujian IG pada manusia sebaiknya dilakukan pada minimal 10 orang dengan kondisi kesehatan yang baik dengan prosedur sebagai berikut:

- a. Subjek dipuasakan selama 10-14 jam.
- b. Subjek mengonsumsi makanan uji yang mengandung setara 50 g karbohidrat atau 25 g untuk makanan rendah karbohidrat.
- c. Sebagai pembandingan, digunakan glukosa murni yang memiliki nilai IG 100. Jika penggunaan glukosa tidak memungkinkan, dapat digunakan roti putih sebagai alternatif tetapi harus disesuaikan terlebih dahulu dengan glukosa standar.
- d. Makanan uji dikonsumsi dalam waktu 10–15 menit untuk makanan padat dan 5–10 menit untuk makanan cair.
- e. Subjek akan diambil sampel darahnya setiap 15-30 menit selama dua jam, dimulai dari 15 menit setelah konsumsi makanan uji (menit ke 0, 15, 30, 45, 60, 90, dan 120).

- f. Nilai IG dihitung berdasarkan luas *Area Under Curve* (AUC) dari respon glukosa darah makanan uji lalu dibandingkan dengan AUC dari makanan pembanding.

Pengujian indeks glikemik pada hewan uji khususnya tikus sedikit berbeda dengan pengujian pada manusia tetapi memiliki prinsip yang sama. Menurut Thannoun (2010) berikut adalah langkah dalam melakukan pengujian indeks glikemik pada tikus sehat:

- a. Tikus yang digunakan adalah tikus jantan usia 2-3 bulan dengan bobot 150-200 g yang dipastikan seragam.
- b. Tikus diaklimatisasi minimal selama 2 hari dengan suhu ruang 20-25°C pada kandang *stainless steel* ukuran 25x22x20 cm dan diberlakukan siklus 12 jam terang dan gelap.
- c. Setelah tikus beradaptasi, tikus dibagi menjadi kelompok kontrol dan uji lalu tikus dipuasakan selama 12 jam (*overnight fasting*) dan hanya diberikan air destilasi secara *ad libitum*.
- d. Tikus kelompok kontrol kemudian diberikan makanan standar setara 0,15 g karbohidrat yang dilarutkan dalam air destilasi.
- e. Tikus kelompok uji juga diberikan makanan uji setara 0,15 g karbohidrat yang tersedia dari pangan uji dalam bentuk padat.
- f. Tikus kemudian diambil darahnya melalui pembuluh darah bagian ekor lalu dicek kadar glukosa darah dimulai dari menit 0, 15, 30, 45, 60, 90, dan 120.

- g. Dilakukan perhitungan *Intercremental Area Under Curve* (IAUC) yang akan dibandingkan dengan IAUC kontrol dan dihitung indeks glikemiknya dengan membagi IAUC pangan uji dengan IAUC pangan kontrol dikali 100.

6. Sorgum

Sorgum (*Sorghum bicolor*) merupakan tanaman sereal yang banyak dibudidayakan di Asia termasuk di Indonesia. Sorgum dikenal sebagai salah satu sereal yang kaya akan kandungan makronutrien, mikronutrien, dan senyawa bioaktif (Atmadja *et al.*, 2024). Tidak hanya itu, tepung sorgum juga memiliki kandungan serat yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tepung terigu dan sereal lainnya seperti jagung dan beras (Atmadja dan A'yunin, 2025). Kandungan gizi yang cukup tinggi, membuat sorgum banyak digunakan sebagai bahan baku pangan seperti *snack bar*, biskuit, kue, dan berbagai produk olahan lainnya (Atmadja, 2025; Lewerissa dan Mawarno, 2024; Olomia *et al.*, 2024). Perbandingan kandungan gizi dan IG sorgum dengan beras dan jagung dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3
Perbandingan Gizi dan IG Sorgum, Jagung, dan Beras Merah

	Sorgum (100 g)	Jagung (100 g)	Beras Merah (100 g)
Energi (kkal)	417,5	366	357
Protein (g)	5,9	9,8	8,4
Lemak (g)	4,21	7,3	1,7
Karbohidrat (g)	74,1	69,1	77,1
Serat (g)	14,9	2,2	0,2
Indeks Glikemik	61	52	64-93

Sumber : KEMENKES RI (2018); Atkinson *et al.* (2008) ; Miller *et al.* (1992); Shobana *et al.*, 2022).

Sorgum memiliki keunggulan karena memiliki kandungan serat yang tinggi dengan kadar indeks glikemik 61 (Shobana *et al.*, 2022). Meskipun indeks glikemik sorgum termasuk kategori sedang tetapi berbagai penelitian menunjukkan bahwa produk olahan yang dibuat dan ditambahkan dengan sorgum terbukti dapat menaikkan kadar serat dan menurunkan IG pangan tersebut seperti *muffin* (IG 38), *coarse semolina upma*, *fine semolina upma*, *flakes poha*, dan pasta dengan IG <55 jauh lebih rendah dibandingkan dengan kontrol (berbasis terigu dan beras) serta terbukti dapat menurunkan glukosa darah puasa (GDP) (Lemlioglu-Austin *et al.*, 2012; Prasad *et al.*, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa sorgum memiliki keunggulan untuk dijadikan bahan pangan yang dapat meningkatkan kadar serat dan menurunkan indeks glikemik pada makanan.

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa sorgum memiliki efek positif bagi DM terutama dalam mencegah dan membantu kontrol gula darah. Studi hewan coba yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2023) menyimpulkan bahwa asupan sorgum menunjukkan terjadinya penurunan

resistensi insulin sebesar 12%, penurunan GDS 23%, dan peningkatan fungsi sel β . Tidak hanya itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan pada penderita DM dan remaja obesitas menunjukkan bahwa konsumsi *cookies* sorgum terbukti menurunkan GDS, trigliserida (TG) pada remaja laki laki obesitas (Rachmawati *et al.*, 2022). Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian Hymavathi *et al.* (2020) bahwa kandungan RS (*Resistant starches*) dari sorgum terbukti secara signifikan dapat menurunkan IMT, GDS, kolesterol total, LDL-C (*Low Density Lipoprotein*) pada penderita DM. Keseluruhan hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa sorgum telah terbukti secara ilmiah memiliki manfaat positif terhadap DM dan sangat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pangan olahan yang bermanfaat untuk penderita DM.

7. Kacang Hijau

Kacang hijau (*Vigna radiata*) merupakan tanaman yang termasuk ke dalam polong-polongan serta umum ditemui dan banyak dibudidayakan di Indonesia (Ratnasari *et al.*, 2021). Kacang hijau memiliki keunggulan kandungan serat pangan yang tinggi yakni sebanyak 7-12 g per 100 g jika dibandingkan dengan kacang merah dan kacang koro. Tidak hanya itu, tepung kacang hijau tergolong rendah indeks glikemik dengan IG sebesar 26-45 (Chauhan *et al.*, 2024). Perbandingan kandungan gizi dan indeks glikemik kacang hijau, kacang merah, dan kacang koro dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4

Perbandingan Gizi dan Indeks Glikemik Kacang Hijau, Kacang Merah,
dan Kacang Koro

	Kacang Hijau	Kacang Merah	Kacang Koro
Energi (kkal)	323	314	327
Protein (g)	22,9	11	16,4
Lemak (g)	1,5	2,2	4,2
Karbohidrat (g)	56,8	56,2	55,8
Serat (g)	7,5	4	0,5
Indeks glikemik	26-45	37,66-52,48	59,20

Sumber : Kemenkes RI (2020); Adekunle *et al.* (2020); Chauhan *et al.* (2024); dan Xu *et al* (2022).

Selain zat gizi makro, kacang hijau juga banyak mengandung senyawa bioaktif lainnya yang memiliki efek positif untuk kesehatan. Senyawa polifenol dalam kacang hijau terbukti membantu menurunkan kadar GDS, meningkatkan toleransi glukosa, menurunkan sensitivitas insulin, memperbaiki serum lemak, meningkatkan aktivitas enzim ALT (*Alanine Aminotransferase*) dan AST (*Aspartate Transaminase*) pada hewan uji. Kandungan polifenol dalam kacang hijau juga terbukti membantu dalam meregulasi mikroflora usus, *firmicuts*, *bacteroidetess*, dan *proteobacteria* serta terbukti meningkatkan diversitas dan meningkatkan keseimbangan mikroflora usus pada hewan uji (Shen *et al.*, 2022). Tidak hanya itu, kacang hijau dapat meningkatkan proliferasi sel β dan meningkatkan aktivasi GLUT 4 (*Glucose Transporter 4*) yang berkaitan langsung dengan peningkatan sensitivitas insulin. Kandungan serat dalam kacang hijau juga terbukti dapat menghambat α -amylase dan α -glucosidase,

memperlambat penyerapan glukosa, dan meningkatkan aktivitas enzim hexokinase di hati (He *et al.*, 2023; Saeting *et al.*, 2021).

Kacang hijau telah banyak digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan makanan seperti kue mochi, kue kering, *snack bar*, dimsum, dan *cookies* (Agustin *et al.*, 2022; Anggrayni dan Herawati, 2025; Baetillah *et al.*, 2022; Listiaty dan Setiawan, 2024; Octaviany dan Sulandari, 2024). Banyaknya olahan yang dapat dibuat dan ditambahkan kacang hijau menandakan kacang hijau memiliki potensi yang besar untuk diolah menjadi berbagai macam makanan. Dengan menggabungkan sorgum dan kacang hijau yang memiliki banyak manfaat positif untuk pencegahan dan penanganan penyakit DM diharapkan akan menghasilkan suatu makanan yang memiliki manfaat positif dengan rasa yang enak untuk penyakit DM.

8. *Cookies*

Cookies merupakan kue kering dengan rasa manis berbentuk kecil dan biasanya dibuat dengan dipanggang dalam oven. *Cookies* menjadi makanan yang praktis, mudah dibuat, serta memiliki masa simpan yang cukup lama. Pada umumnya bahan utama dalam pembuatan *cookies* adalah tepung terigu (Farrah *et al.*, 2022). Dalam pembuatan *cookies* dibutuhkan beberapa bahan lain yaitu gula, *shortening*, baking powder, kuning telur, dan garam (Wiryawan *et al.*, 2024). Semua bahan tersebut kemudian dicampurkan sampai membentuk adonan lalu dibentuk dan dipanggang.

Tepung terigu sebagai bahan baku utama dalam *cookies* menjadikannya kurang baik untuk dikonsumsi oleh penderita DM. Sorgum dan kacang hijau merupakan 2 bahan yang memiliki karakteristik dan manfaat baik bagi penderita DM seperti yang telah dijelaskan oleh peneliti. Akan tetapi, dalam membuat *cookies* terdapat standar yang harus dipenuhi agar *cookies* yang dihasilkan dapat memenuhi standar minimal *cookies* di pasaran. Di Indonesia standar syarat mutu *cookies* telah tercantum dalam dalam SNI (Standar Nasional Indonesia) dengan kode SNI 01-2973-1992. Berikut adalah syarat mutu *cookies* menurut SNI (Tabel 2.5).

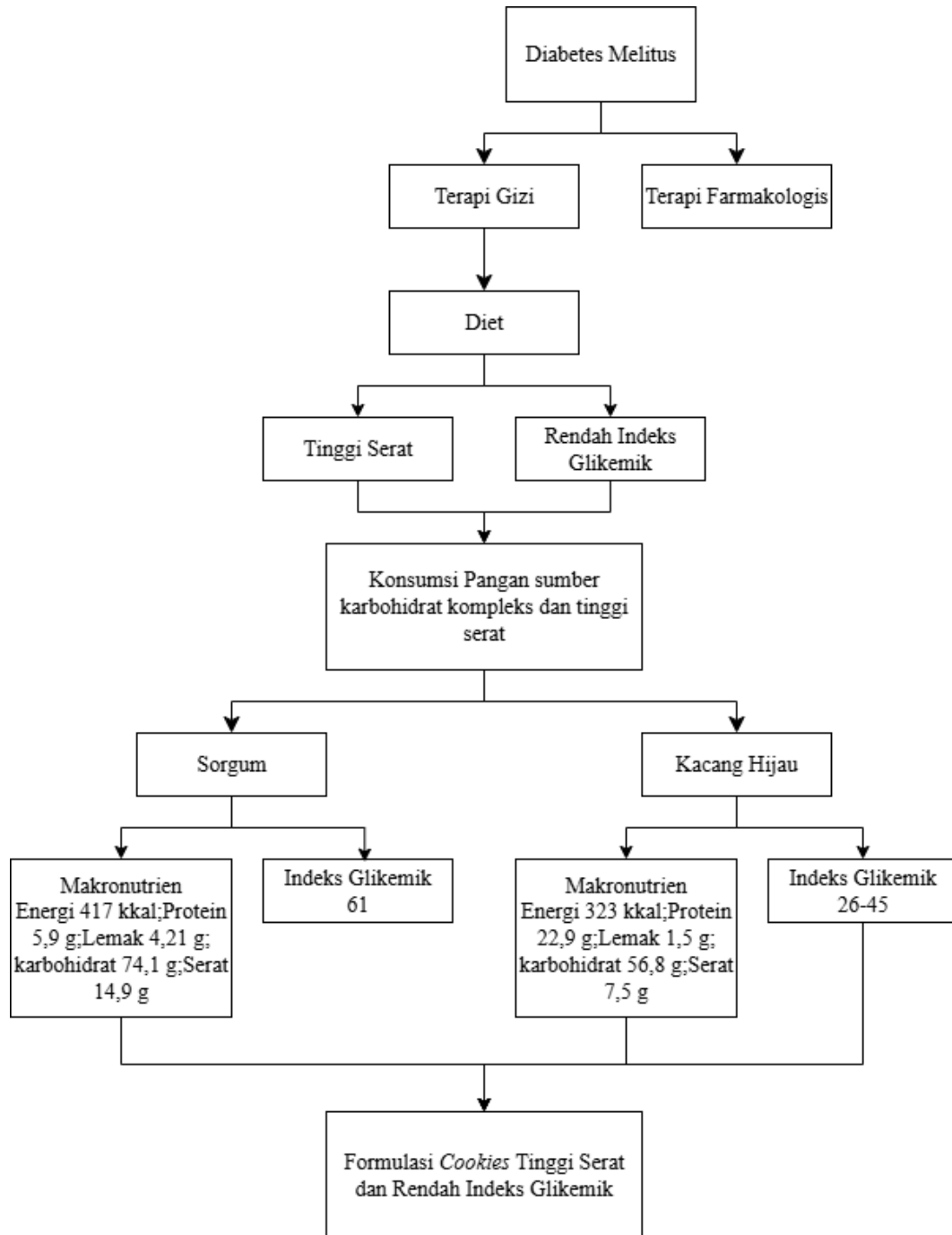
Tabel 2. 5

Kriteria Uji	Syarat
Energi (kkal)	Min 400
Air (%)	Maks 5
Protein (%)	Min 5
Lemak (%)	Min 9,5
Karbohidrat (%)	Min 7.0
Abu (%)	Maks 1,6
Serat kasar (%)	Maks 0,5
Logam berbahaya	Negatif
Bau dan rasa	Normal dan tidak tengik
Warna	Normal

SNI *Cookies*

Sumber : Badan Standarisasi Nasional (1992)

B. Kerangka Teori



Gambar 2. 1 Kerangka Teori

Sumber: Modifikasi PERKENI (2021); Salvati *et al.* (2024); Chauhan *et al.* (2024)