

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

1. Diabetes Melitus

a. Definisi

Diabetes melitus tipe 2 merupakan sebuah kondisi dimana glukosa darah mengalami kenaikan yang disebabkan oleh sel beta pankreas memproduksi insulin dalam jumlah sedikit (Kemenkes, 2022). Diabetes melitus tipe 2 terdiri dari serangkaian disfungsi yang ditandai dengan hiperglikemia, hipoglikemia, dan akibat kombinasi resistensi terhadap aksi insulin, sekresi insulin yang tidak adekuat dan sekresi glukagon yang berlebihan atau tidak tepat (*American Diabetes Association*, 2021).

Resistensi insulin merupakan menurunnya kemampuan insulin dalam melakukan rangsangan terhadap glukosa di jaringan perifer, serta menghambat produksi glukosa oleh hati sehingga menyebabkan glukosa tidak bisa memasuki sel yang akhirnya berujung di dalam peredaran darah dan tertimbun di sana (Bustan, 2015). Sel beta pankreas juga tidak mampu mengimbangi resistensi insulin yang terjadi dan akhirnya menyebabkan defisiensi insulin (WHO, 2021).

b. Etiologi

Terdapat beberapa faktor tertentu yang dapat meningkatkan risiko terjadinya diabetes melitus tipe 2. Faktor-faktor tersebut dibagi menjadi dua, yaitu faktor yang dapat dimodifikasi dan faktor yang tidak dapat dimodifikasi.

Faktor risiko yang dapat dimodifikasi dalam beberapa penelitian ditemukan bahwa faktor usia dan jenis kelamin memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian diabetes melitus terkait penurunan sensitivitas respon insulin (Imelda, 2019; Rani *et al*, 2021). Faktor lain yang memiliki hubungan positif dalam meningkatkan risiko diabetes melitus tipe 2 adalah riwayat keluarga, dimana faktor genetik berkontribusi dalam perkembangan penyakit diabetes melitus tipe 2 pada keturunan (Imelda, 2019; Widiyastuti, 2021).

Faktor risiko yang dapat dimodifikasi menurut beberapa penelitian seperti dalam penelitian Hariawan *et al* (2019) melaporkan bahwa faktor pola makan dan aktivitas fisik memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian diabetes melitus tipe 2 yang berkaitan dengan asupan karbohidrat berlebih serta aktivitas fisik yang rendah. Penelitian lain yang dilakukan Karim *et al* (2022) menyatakan bahwa merokok meningkatkan risiko terjadinya diabetes melitus tipe 2 karena menekan produksi kortisol dan penumpukan lemak sehingga menjadi obesitas yang berakibat pada resistensi insulin.

c. Patofisiologi

Menurut Saputra (2014), patofisiologi pada diabetes melitus tipe 2 dirumuskan ke dalam 5 (lima) hal, yaitu:

- 1) Diabetes melitus tipe 2 adalah keadaan di mana pelepasan insulin berkurang dan terganggunya reseptor insulin dalam jaringan perifer
- 2) Deplesi insulin di sel-sel yang dependen pada insulin mengakibatkan laju pengambilan glukosa pada sel berkurang secara nyata
- 3) Glukoneogenesis mengalami peningkatan karena berkurangnya stimulasi metabolisme glukosa, di mana keadaan tersebut yang menjadi penyebab terjadinya hiperglikemia dan glukosuria
- 4) Insulin yang berkurang dapat memicu pelepasan asam-asam lemak bebas yang tidak dapat dimetabolisme dan dilepas dalam bentuk keton ke dalam darah dan urin.

Diabetes melitus tipe 2 disebabkan karena sel-sel sasaran insulin gagal atau tidak mampu merespon insulin secara normal atau keadaan yang disebut dengan resistensi insulin. Pada penderita diabetes tipe 2 dapat juga terjadi kelebihan produksi glukosa hepatic namun tidak terjadi kerusakan pada sel beta *langerhans* secara autoimun (Fatimah, 2015).

Sel beta menunjukkan gangguan pada sekresi insulin gagal mengkompensasi resistensi insulin. Apabila tidak ditangani dengan

baik, selanjutnya akan berkembang pada kerusakan sel-sel beta pankreas. Kerusakan sel beta pankreas yang terjadi secara progresif akan menyebabkan defisiensi insulin yang membuat penderita diabetes tipe 2 memerlukan insulin eksogen (Fatimah, 2015).

d. Manifestasi Klinis

Menurut Haryono (2019), manifestasi klinis yang sering dilaporkan dari penderita diabetes tipe 2 adalah:

- 1) Buang air kecil di malam hari dengan frekuensi yang sering
- 2) Merasa haus dan lapar meski telah cukup minum dan makan
- 3) Merasa lelah meski sudah istirahat cukup
- 4) Gangguan penglihatan seperti pandangan mulai kabur yang disebabkan oleh adanya perubahan pada bentuk lensa di mata
- 5) Penurunan berat badan yang drastis
- 6) Luka yang sulit mengering (sembuh)
- 7) Tubuh mudah terserang infeksi
- 8) Tubuh terasa gatal di beberapa bagian

e. Komplikasi

Komplikasi pada diabetes melitus terbagi menjadi 2 jenis yaitu komplikasi akut dan komplikasi kronis

1) Komplikasi Akut

- a. Hipoglikemia, yaitu kondisi kadar glukosa darah < 60 mg/dL

- b. Hiperglikemia, yaitu kondisi kadar glukosa darah > 200 mg.dL disertai gejala pandangan kabur, penurunan berat badan, kulit kering dan gatal, dan kekurangan cairan akibat skresi urin yang berlebih
- c. Ketoasidosis diabetik, yaitu kondisi terdapat infeksi, asupan makan yang berlebih, dan tidak adanya injeksi insulin
- d. Hiperosmolar ketotik, yaitu kondisi terdapat dehidrasi berat, tekanan darah rendah, dan syok tanpa adanya berat badan keton
- e. Koma lakto asidosis, yaitu kondisi tubuh dalam kondisi tidak mampu mengubah asam laktat menjadi karbohidrat (PERKENI, 2022)

2) Komplikasi Kronis

a. Komplikasi Spesifik

Penyebab komplikasi ini adalah adanya perbedaan metabolisme dalam jaringan dan perbedaan jenis mikroangiopati diabetik, diantaranya:

1. Retinopati diabetik
2. Nefropati diabetik
3. Neuropati diabetik
4. Kaki diabetes

(PERKENI, 2022)

b. Komplikasi Tidak Spesifik

Komplikasi ini terjadi dalam kondisi lebih awal, diantaranya:

1. Penumpukan lemak pada pembuluh darah perifer
2. Stroke
3. Katarak
4. Infeksi Saluran Kemih (ISK) dan *tuberculosis* (TBC)

(Rif'at *et al*, 2023)

f. Pemeriksaan Kadar Glukosa Darah

Menurut Haryono (2019), pemeriksaan kadar glukosa darah pada pasien diabetes melitus tipe 2 memiliki 4 (empat) jenis, diantaranya:

1) Tes *Glycated Hemoglobin* (HBA1C)

HBA1C mengukur persentase glukosa darah yang melekat pada hemoglobin dan protein pembawa oksigen dalam sel darah merah selama 2-3 bulan terakhir. Hasil yang menunjukkan tingkat HBA1C sebanyak $\geq 6,5\%$ secara berturut-turut pada dua tes terpisah, dapat dinyatakan pasien mengalami diabetes. Kadar normal dikatakan jika hasil tes $> 5,7\%$.

2) Tes Glukosa Darah Sewaktu

Tes darah ini mengambil sampel darah dalam waktu acak. Pemeriksaan ini terlepas dari waktu terakhir makan seseorang, jika kadar gula darah acak ditemukan sebesar 200 mg/dL atau 11,1

mmol/L maka hasil tersebut menunjukkan penderita dikatakan mengalami diabetes, terutama bila data tersebut didukung dengan adanya tanda dan gejala diabetes.

3) Tes Glukosa Darah Puasa

Tes darah ini mengambil sampel darah dalam waktu setelah puasa semalaman. Tingkat glukosa darah puasa yang menunjukkan kadar < 100 mg/dL dianggap masuk kategori normal. Seseorang yang dinyatakan diabetes melitus tipe 2 saat pemeriksaan sampel, hasil tes akan menunjukkan kadar glukosa darah 126 mg/dL atau bisa juga lebih tinggi pada dua tes terpisah.

4) Tes Toleransi Glukosa Oral

Pasien akan diminta untuk meminum air gula setelah pengukuran glukosa darah puasa dan kemudian dilakukan pengukuran kembali secara berkala selama dua jam. Hasil tes yang menunjukkan kadar glukosa darah < 140 mg/dL masuk ke dalam kategori normal. Hasil kadar glukosa darah di angka antara 140 – 199 mg/dL termasuk ke dalam kategori prediabetes dan akan berisiko menjadi positif diabetes jika kadar glukosa darah menunjukkan angka 200 mg/dL atau lebih tinggi setelah dua jam.

g. Hipoglikemia

Hipoglikemia merupakan suatu keadaan terjadinya penurunan konsentrasi glukosa serum. Hipoglikemia ditandai dengan menurunnya

kadar glukosa darah hingga $< 70 \text{ mg/dL}$ ($< 4,0 \text{ mmol/L}$) yang juga didukung dengan adanya gejala seperti kadar glukosa darah yang rendah (*American Diabetes Association*, 2020).

Hasil dari *United Kingdom Prospective Diabetes Study* (UKPDS) yang meneliti penyandang DM pada semua tipe selama 6 tahun, menunjukkan bahwa penggunaan insulin menyebabkan 76% responden mengalami hipoglikemia, penggunaan obat sulfonilurea menyebabkan 45% responden mengalami hipoglikemia, dan diet yang tidak tepat menyebabkan 3% sisanya terjadi hipoglikemia. (Borzi *et al*, 2016).

h. Hiperglikemia

Hiperglikemia merupakan suatu kondisi yang terjadi ketika glukosa tidak dapat dikirimkan ke sel-sel karena kurangnya insulin. Peningkatan kadar glukosa darah disebabkan oleh gangguan homeostasis regulasi glukosa darah. (Ariqoh, 2022). Seseorang yang mengalami hiperglikemia akan menunjukkan kondisi seperti pandangan kabur, merasa haus, berat badan yang menurun, kulit kering, mengantuk sampai kesadaran menurun disertai kekurangan cairan (Alfaqih *et al*, 2022).

2. Indeks Glikemik

a. Definisi

Indeks glikemik (IG) merupakan kadar ukuran yang dikembangkan untuk mengklasifikasikan bahan pangan yang

mengandung karbohidrat yang berpengaruh terhadap kadar glukosa di dalam darah. IG suatu makanan diukur dengan membandingkan peningkatan konsentrasi glukosa darah setelah tubuh menerima asupan karbohidrat, biasanya setara dengan pangan yang mengandung 50 g karbohidrat (Philippou, 2017).

Pangan yang memiliki indeks glikemik rendah maupun tinggi dibedakan berdasarkan kecepatan respon pencernaan dan penyerapan glukosa. Pangan yang mengandung karbohidrat sederhana lebih cepat dicerna dan mempunyai indeks glikemik tinggi, sementara pangan yang mengandung karbohidrat kompleks lebih lambat dicerna dan memiliki indeks glikemik lebih rendah (Toh *et al*, 2020). Proses pencernaan dan penyerapan yang berjalan lambat dapat berpengaruh terhadap laju pengosongan lambung yang lambat. Dalam hal ini, pangan dengan IG rendah dapat diserap di usus duodenum dan jejunum yang menyebabkan fluktuasi kadar glukosa darah relatif lebih kecil (Daeli *et al*, 2018).

b. Faktor -Faktor yang Memengaruhi Indeks Glikemik Makanan

Indeks glikemik suatu makanan ditentukan oleh interaksi berbagai faktor, seperti sifat fisik dan kimia pangan, laju pencernaan karbohidrat, laju pengosongan lambung, dan keberadaan zat gizi lain. Adapun faktor-faktor yang berpengaruh terhadap indeks glikemik dari suatu makanan meliputi:

1) Jenis Pati

Pati memiliki 2 (dua) jenis yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa memiliki ikatan hidrogen yang lebih mudah untuk diretrogradasi daripada amilopektin (Kang *et al*, 2018). Dengan demikian, amilosa lebih tahan terhadap enzim hidrolitik dengan respons glikemik yang lebih rendah dibandingkan amilopektin (Philippou, 2017).

Sebuah penelitian yang dilakukan (Kale *et al*, 2015) pada berbagai genotipe seperti gandum, jagung, beras dengan rasio amilosa dan amilopektin yang berbeda menunjukkan bahwa orang yang mengonsumsi beras dan jagung dengan kandungan amilosa tinggi memiliki respons glukosa serum *postprandial* secara signifikan lebih rendah (Philippou, 2017).

2) Proses Pengolahan

Proses pengolahan dapat menghilangkan serat lapisan luar pada pati yang memperlambat akses enzim pencernaan terhadap pati, hal ini dapat meningkatkan nilai indeks glikemik (Nayak *et al*, 2014). Modifikasi kandungan makanan juga dapat memengaruhi indeks glikemik. Misalnya 1-2% pati pada kentang yang mengandung asetat dapat menurunkan indeks glikemik (Lal *et al*, 2020b).

Makanan dengan kandungan pati dengan titik didih tinggi, dapat lebih mudah dicerna dan memiliki nilai indeks glikemik yang lebih tinggi seperti kentang yang direbus atau dipanggang (Qing *et al*, 2017).

3) Zat Gizi Makro

Protein dan lemak dapat menurunkan respons glukosa darah dan meningkatkan sekresi insulin ketika ditambahkan ke dalam sumber pangan karbohidrat (Ballance *et al*, 2018). Sumber protein dapat menunda pengosongan lambung, termasuk juga menunda pencernaan pati. Sementara pangan sumber protein lemak juga memiliki sifat menunda pengosongan lambung (Edwards *et al*, 2018).

4) Serat

Serat larut air berasal dari buah dan sayuran, sedangkan serat tidak larut berasal dari biji-bijian dan sereal. Kedua serat membuat campuran makanan di sistem pencernaan menjadi kental akibat fermentasi di saluran pencernaan, hal ini dapat menghambat enzim untuk mencerna pati serta menghasilkan respons glukosa darah dan nilai indeks glikemik yang lebih rendah (Barber *et al*, 2020). Serat pangan larut air seperti *barley* dan legum memiliki indeks glikemik yang rendah (Jenkins *et al*, 2012).

5) Gula

Gula memiliki jenis dan nilai indeks glikemik yang berbeda. Sukrosa terdiri dari glukosa dan fruktosa yang memiliki indeks glikemik yang lebih rendah daripada glukosa. Hal ini karena separuh dari molekul sukrosa terdiri dari fruktosa yang dapat menghasilkan lonjakan glukosa darah lebih rendah setelah dikonsumsi (Lowndes *et al*, 2014). Indeks glikemik yang dimiliki glukosa adalah 100, sukrosa adalah 68, dan fruktosa adalah 19 (Philippou, 2017).

6) Keasaman

Asam organik dalam makanan menghambat terjadinya pengosongan lambung, termasuk menghambat laju pencernaan karbohidrat (Kumar *et*, 2020b). Selain itu, penambahan roti dalam makanan dapat menghasilkan indeks glikemik yang berbeda tergantung pada kandungan asam organiknya (Philippou, 2017).

c. Tabel Internasional Indeks Glikemik Makanan

Atkinson *et al* dalam American *Diabetes Association* (ADA) *Publications* (2008) merilis tabel internasional berisi indeks glikemik bahan makanan untuk meningkatkan kualitas data dan memberikan tabulasi secara sistematis dari sumber-sumber yang dipublikasi maupun yang tidak dipublikasi.

Tabel 2.1 Tabel Internasional Indeks Glikemik: Edisi 2008

Nama Bahan Makanan	IG	Nama Bahan Makanan	IG
Makanan Tinggi Karbohidrat			
Roti gandum putih	75	Bihun	53
Roti gandum utuh	74	Mie	55
Roti gandum khusus	53	Nasi tim	76
Roti gandum tanpa ragi	70	Sereal jagung	81
Roti gandum	62	Biskuit	39
Singkong	46	Bubur, oat giling	55
Nasi putih	73	Bubur gandum instan	79
Nasi merah	68	Bubur nasi	78
Jagung manis	52	Bubur sereal	67
Spageti	48	Lontong	82
Buah-Buahan			
Apel, mentah	36	Kurma, mentah	42
Jeruk, mentah	43	Persik, kalengan	43
Pisang, mentah	51	Selai/jeli stroberi	49
Nanas, mentah	59	Jus apel	41
Mangga, mentah	51	Jus jeruk	50
Semangka, mentah	76	Papaya	58
Sayuran			
Kentang, rebus	78	Labu, rebus	64
Kentang, tumbuk	87	Pisang hijau	55
Kentang, goreng	63	Talas, rebus	53
Wortel, rebus	39	Sup sayuran	48
Ubi jalar, rebus	63	Tauge	55
Produk Susu dan Turunannya			
Susu, lemak tinggi	39	Yoghurt, buah	41
Susu skim	37	Susu kedelai	34
Es krim	51	Susu beras	86
Kacang-Kacangan			
Kacang tanah	24	Kacang panjang	28
Kacang kedelai	16	Buncis	30
Produk Snack			
Coklat	40	Soda	59
Popcorn	65	Kraker beras	87
Keripik kentang	56	Donat	77
Gula			
Fruktosa	15	Glukosa	103
Sukrosa	65	Madu	61

3. Aktivitas Fisik

a. Definisi

Aktivitas fisik dapat diartikan sebagai segala bentuk gerakan tubuh yang dihasilkan dari kontraksi otot rangka melalui pemecahan energi dan menyebabkan meningkatnya kebutuhan kalori tubuh dalam keadaan istirahat (*resting energy expenditure*) (Azitha *et al*, 2018). *Resting energy expenditure* merupakan energi yang digunakan oleh tubuh dalam keadaan istirahat dalam satu hari. Seseorang yang melakukan aktivitas fisik memerlukan energi lebih untuk digunakan dalam melakukan aktivitas yang bergantung dari tingkat intensitas aktivitas fisik yang dilakukan. Semakin tinggi intensitas aktivitas yang dilakukan, maka semakin banyak pula kebutuhan energi yang dibutuhkan oleh tubuh (Wicaksono, 2021).

b. Intensitas Aktivitas Fisik

Metabolic equivalents (METs) merupakan skala energi yang digunakan oleh seseorang berdasarkan massa tubuhnya. Menurut Kemenkes (2022), intensitas aktivitas fisik diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) diantaranya:

1) Intensitas Ringan

Aktivitas fisik dihitung < 3 METs. Aktivitas ini diantaranya berjalan kaki, mencuci piring, bersetrika, memasak, memancing, hingga bermain instrument alat musik.

2) Intensitas Sedang

Aktivitas fisik dihitung antara 3 – 5,9 METs. Aktivitas ini diantaranya berjalan cepat, mencuci mobil, menyapu lantai, serta beberapa jenis olahraga seperti badminton, basket, dan tenis meja.

3) Intensitas Berat

Aktivitas fisik dihitung > 6 METs. Aktivitas ini diantaranya berjalan cepat di jalan menanjak, berlari, angkat beban berat, bersepeda, sepak bola, berenang, bola tenis, dan bola voli.

Menurut *The American College of Sport Medicine (ACSM)* (2018), intensitas aktivitas fisik maksimal 60-90% atau setara dengan 50-85% oksigen maksimum yang digunakan (V_{O_2}) dan melakukan aktivitas fisik selama 16-60 menit dalam 3-5x/minggu dapat meringankan beban kerja jantung dan meningkatkan kebugaran.

c. Metode Pengukuran Aktivitas Fisik

Aktivitas fisik dapat diukur menggunakan beberapa metode yang direkomendasikan *World Health Organization (WHO)*:

1) *Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ)*

Metode ini bertujuan untuk memantau kebiasaan latihan fisik masyarakat terutama di negara-negara berkembang. GPAQ berupa kuesioner yang terdiri atas 16 pertanyaan yang menggambarkan tingkat aktivitas fisik dalam 3 domain aktivitas seperti pekerjaan,

perjalanan, rekreasi, serta waktu yang dihabiskan untuk duduk (gaya hidup sedentari) (Nainggolan *et al*, 2019).

2) *International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)*

IPAQ memiliki dua versi yang berbeda yaitu versi panjang dan versi pendek (Dharmansyah dan Budiana, 2021). Versi panjang IPAQ meneliti kebiasaan aktivitas fisik dalam kehidupan sehari-hari dengan menggunakan 27 item di empat domain aktivitas fisik (yaitu waktu senggang, aktivitas rumah tangga dan berkebun, pekerjaan dan aktivitas dengan transportasi), sedangkan versi pendek IPAQ terdiri dari 7 item rangkuman yang mengukur tingkat aktivitas fisik secara menyeluruh tanpa memandang domain yang akan diukur (Kim *et al*, 2012).

3) *Physical Activity Level (PAL)*

Metode ini menilai aktivitas fisik berdasarkan perhitungan jumlah aktivitas fisik yang dilakukan selama periode 24 jam dengan cara mengukur *Total Energy Expenditure* (TEE) selama 24 jam dan dinyatakan sebagai kelipatan dari *Basal Metabolic Rate* (BMR). Hasil perkalian dari PAL dan BMR dapat menggambarkan kebutuhan energi individu (FAO, 2004).

Perbedaan aktivitas fisik berdasarkan keragaman dan komposisi ukuran tubuh, ekonomi, serta budaya dapat diperhitungkan menggunakan estimasi TEE melalui perhitungan faktorial dengan

menggabungkan waktu yang dialokasikan untuk aktivitas yang biasa dilakukan dan pengeluaran energi dari aktivitas tersebut (Simanjuntak, 2018).

4. Metode Pengukuran Konsumsi Pangan Individu

Asupan zat gizi yang dikonsumsi oleh tiap individu dapat diukur menggunakan beberapa metode seperti:

a. *Food Recall* 24 Jam

Metode *food recall* 24 jam bertujuan untuk mengetahui asupan gizi dalam sehari. Pengumpulan data menggunakan metode *food recall* 24 jam dapat dilakukan dengan dua cara wawancara. Pertama, menanyakan asupan makanan dimulai dari bangun di pagi hari kemarin sampai tidur pada malam hari kemarin. Kedua, menanyakan asupan makanan dalam kurun waktu 24 jam sebelumnya yang dihitung sejak waktu wawancara dilakukan (Harjatmo, 2017).

Prinsip dalam penggunaan metode ini yaitu mencatat semua jenis hidangan dan bahan makanan yang dikonsumsi, hingga mencatat berat makanan dalam ukuran rumah tangga (URT) dan berat makanan dalam estimasi gram. Jumlah konsumsi makanan harus ditanyakan secara detail dengan menggunakan URT, cara ini dapat dilakukan menggunakan bantuan buku foto makanan (Harjatmo, 2017).

b. Pencatatan Estimasi Makanan (*Estimated Food Record*)

Metode yang juga disebut *food record*, digunakan untuk mengukur asupan gizi dengan cara membuat estimasi jumlah makanan yang dikonsumsi sesuai dengan catatan nama hidangan dan jenis bahan makanan yang dikonsumsi. Prinsip dalam penggunaan metode ini hampir sama seperti metode *food recall* 24 jam, namun perbedaannya dengan metode *estimated food record* adalah pencatatan konsumsi makanan dilakukan oleh responden itu sendiri (Harjatmo, 2017).

c. Penimbangan Makanan (*Food Weighing*)

Responden diwajibkan untuk menimbang dan mencatat semua makanan yang dikonsumsi selama 24 jam. Jika ada makanan yang tersisa, makanan sisa juga ditimbang untuk mengetahui jumlah makanan yang sebenarnya dikonsumsi. Formulir yang digunakan untuk pengumpulan data mirip dengan formulir *food recall* selama 24 jam. Pengumpulan data biasanya dilakukan selama setiap hari bergantung pada tujuan, dana, dan sumber daya yang tersedia (Harjatmo, 2017).

d. Riwayat Makanan (*Dietary History*)

Metode ini digunakan untuk menggambarkan pola konsumsi pangan individu berdasarkan pengamatan dalam rentang waktu yang cukup lama. Metode ini meliputi wawancara (termasuk *recall* 24 jam), frekuensi penggunaan bahan makanan, dan pengecekan ulang dengan mencatat konsumsi selama 2-3 hari terakhir. Hal yang perlu

diperhatikan diantaranya adalah mencatat variasi makanan pada musim dan hari tertentu, termasuk hari istimewa seperti hari raya (Utami, 2016).

e. Frekuensi Makanan (*Food Frequency Questionnaire*)

Metode FFQ memiliki dua bentuk, yaitu metode FFQ kualitatif dan metode semi kuantitatif FFQ. Metode FFQ kualitatif termasuk ke dalam metode kualitatif karena prinsipnya adalah fokus pada jenis makanan tertentu ataupun kelompok makanan tertentu. Metode *Semi Quantitative Food Frequency Questionnaire* (SQ-FFQ) digunakan untuk memperoleh gambaran kebiasaan asupan gizi individu dalam kurun waktu tertentu yang bertujuan untuk melihat rata-rata jumlah asupan zat gizi dalam sehari (Harjatmo, 2017).

5. Hubungan Indeks Glikemik Makanan dan Kadar Glukosa Darah

Karbohidrat yang dikonsumsi akan terdegradasi menjadi oligosakarida dan monosakarida oleh enzim α -amilase dan amiloglukosidase. Pati diubah menjadi glukosa setelah dihidrolisis oleh α -amilase di saliva dan dari pankreas. Produk yang berasal dari hidrolisis α -amilase di usus halus elanjutnya dihidrolisis oleh dua enzim eksositik yang disekresikan oleh *brush border*, yaitu maltaseglukoamilase dan sukrase-isom yang diserap dalam aliran darah sehingga menyebabkan peningkatan respons glikemik (Edwards *et al*, 2018). Butiran pati dari sumber karbohidrat yang berbeda memiliki tingkat cerna yang berbeda

karena variasi struktur butiran. Laju pencernaan butiran kecil lebih cepat daripada butiran besar karena rasio luas permukaan terhadap volume yang besar sehingga membantu memberikan akses yang lebih besar ke enzim penghidrolisis (Zhu *et al*, 2020).

Sebuah penelitian yang dilakukan Astuti dan Maulani (2017) terkait kebiasaan konsumsi makanan tinggi indeks glikemik dan kadar glukosa darah pasien DM tipe 2 memiliki hubungan yang signifikan. Hal tersebut dikarenakan makanan dengan indeks glikemik tinggi diserap di usus halus bagian atas yang dapat menyebabkan laju pengosongan lambung dan penyerapan glukosa menjadi lebih cepat, sehingga berakibat pada tingginya kadar glukosa di dalam darah.

Indeks glikemik dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tingkat motilitas gastrointestinal, pencernaan dan penyerapan yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Pati Resisten

Peningkatan pati resisten pada suatu atau kombinasi makanan dapat digunakan sebagai metode untuk mengurangi penyerapan glukosa (Kumar *et al*, 2018a). Kondisi saat pati resisten mencapai usus halus dapat menyebabkan penurunan glukosa postprandial dan respons insulin. Makanan yang memiliki kandungan pati resisten tinggi memiliki daya cerna lebih lambat dibandingkan dengan makanan serupa yang mengandung konsentrasi pati dengan daya

cerna lebih cepat. Daya cerna yang lambat menunda respon lapar di otak yang kemudian menurunkan penyerapan glukosa akibat asupan makan yang menurun. Penurunan penyerapan glukosa menyebabkan kadar glukosa di dalam darah menjadi lebih rendah (Lockyer dan Nugent, 2017).

2. Amilosa-Amilopektin

Studi pada pati kentang menunjukkan bahwa kandungan amilosa yang tinggi memiliki ketahanan terhadap hidrolisis enzimatis dan efek stabilisasi akibat rantai amilosa pada pati kentang yang sangat panjang (Rocha *et al*, 2010). Rasio amilosa: amilopektin ditemukan memiliki korelasi positif dengan pembentukan pati resisten. Hal tersebut menyebabkan respons glikemik dan insulinemik postprandial menjadi lebih lambat (Lal *et al*, 2020).

3. Serat

Serat pada dinding sel kulit tanaman sumber karbohidrat (jagung, beras, kentang, gandum, singkong) mengandung sebanyak 1-2% serat dari total berat aslinya. Serat ini tidak mengalami lignifikasi dan berperan penting dalam memengaruhi metabolisme perantara dengan memperlambat penyerapan glukosa dan lemak dari usus halus; selain itu, serat berfermentasi di usus dan menghasilkan asam lemak rantai pendek yang menginduksi sekresi hormon *Glucagon Like Polypeptide-1* (GLP-1) dan *Gastric Inhibitory Polypeptide* (GIP),

yang kemudian meningkatkan sensitivitas insulin sehingga kadar glukosa dalam darah menurun (Sunarti, 2017).

4. Asam Fitat

Asam fitat memengaruhi daya cerna pati melalui pengikatan enzim pencernaan atau protein yang terkait dengan pati. Asam fitat dapat berikatan dengan Ca^{2+} (faktor pendorong aktivitas α -amilase) di dalam usus dan mengurangi daya cerna pati (Lal *et al*, 2021). Semakin tinggi asam fitat, semakin rendah laju hidrolisis pati dan akibatnya semakin rendah IG makanan. Kumar *et al* (2020b) menemukan korelasi negatif antara asam fitat dan IG yang melaporkan menurunnya daya cerna pati karena adanya asam fitat pada butiran beras.

5. Lipid dan Protein

Komponen protein yang pada pati dapat menurunkan respon glikemik dan insulinemik. Studi tentang interaksi pati-protein dari mikroskop *confocal* dan kalorimetri pemindaian diferensial menunjukkan bahwa denaturasi dan hidrolisis protein dapat menghambat hidrasi pati dan pembelahan enzimatik. Hal ini juga dapat bekerja melawan enzim metabolisme hidrolisis pati (Lopez-Bar *et al*, 2017).

6. Hubungan Aktivitas Fisik dan Kadar Glukosa Darah

Metabolisme diawali saat memulai aktivitas dengan menggunakan kreatin fosfat dan glikogen untuk menghasilkan *adenosine triphosphate* (ATP). Aliran darah ke otot meningkat dan otot menyerap energi selama aktivitas berlangsung (Lande *et al*, 2015). Energi yang digunakan terdiri dari glukosa dan asam lemak kemudian dioksidasi untuk menghasilkan ATP. Kontraksi otot yang berlangsung menyebabkan ATP diubah menjadi *adenosine diphosphate* (ADP) dan reaksi adenilat siklase menghasilkan pembentukan kembali ATP, serta pembentukan *adenosine monophosphate* (AMP) untuk proses glikolisis. Glikogen otot diuraikan melalui AMP yang mengaktifkan dan merangsang fosforuktokinase-1 dan fosforilase b (Zainaro *et al*, 2016).

Hati berperan dalam pengeluaran energi saat beraktivitas melalui proses glukoneogenesis. Sumber utama karbon untuk glukoneogenesis adalah asam laktat yang dihasilkan oleh otot selama berkontraksi (Henggu dan Nurdiansyah, 2021). Hormon epinefrin yang dilepaskan selama aktivitas fisik merangsang hati melakukan glukoneogenesis melalui peningkatan konsentrasi *cyclic adenosine monophosphate* (cAMP) (Yuwana *et al*, 2023).

Berdasarkan penelitian Nurman *et al* (2020) yang menemukan bahwa terdapat hubungan signifikan antara pasien DM tipe 2 dengan tingkat aktivitas fisik rendah memiliki kontrol glukosa yang lebih rendah. Hal ini

dikarenakan latihan fisik berfungsi dalam mengoptimalkan kerja mitokondria dalam proses oksidasi glukosa melalui peningkatan kapasitas mitokondria dalam sel otot.

Regulasi metabolisme glukosa otot dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya:

a) Intensitas dan Durasi Latihan

Pemecahan glikogen otot menjadi glukosa-1-fosfat dikendalikan oleh glikogen fosforilase dan membutuhkan gugus fosfat sebagai substrat. Transformasi fosforilase dari bentuk tidak aktif ke bentuk aktif dapat meningkatkan glikogenolisis selama latihan intensitas tinggi (Gonzales *et al*, 2016). Glukosa plasma juga berkontribusi terhadap produksi ATP selama latihan akibat peningkatan aliran darah otot dan pengiriman substrat. Setelah glukosa diangkut ke dalam sel, glukosa-6-fosfat dihasilkan di bawah pengaruh heksokinase (Zainaro *et al*, 2022).

Selama latihan intensitas tinggi, fosforilasi glukosa dapat membatasi pemanfaatan glukosa karena tingginya tingkat glukosa-6-fosfat yang dapat menghambat heksokinase. Enzim pembatas laju glikolisis atau fosfofruktokinase, diaktifkan oleh ADP, AMP, dan Pi yang menyebabkan tingginya laju glikolisis selama latihan intensif (Firani, 2017).

b) Ketersediaan Substrat

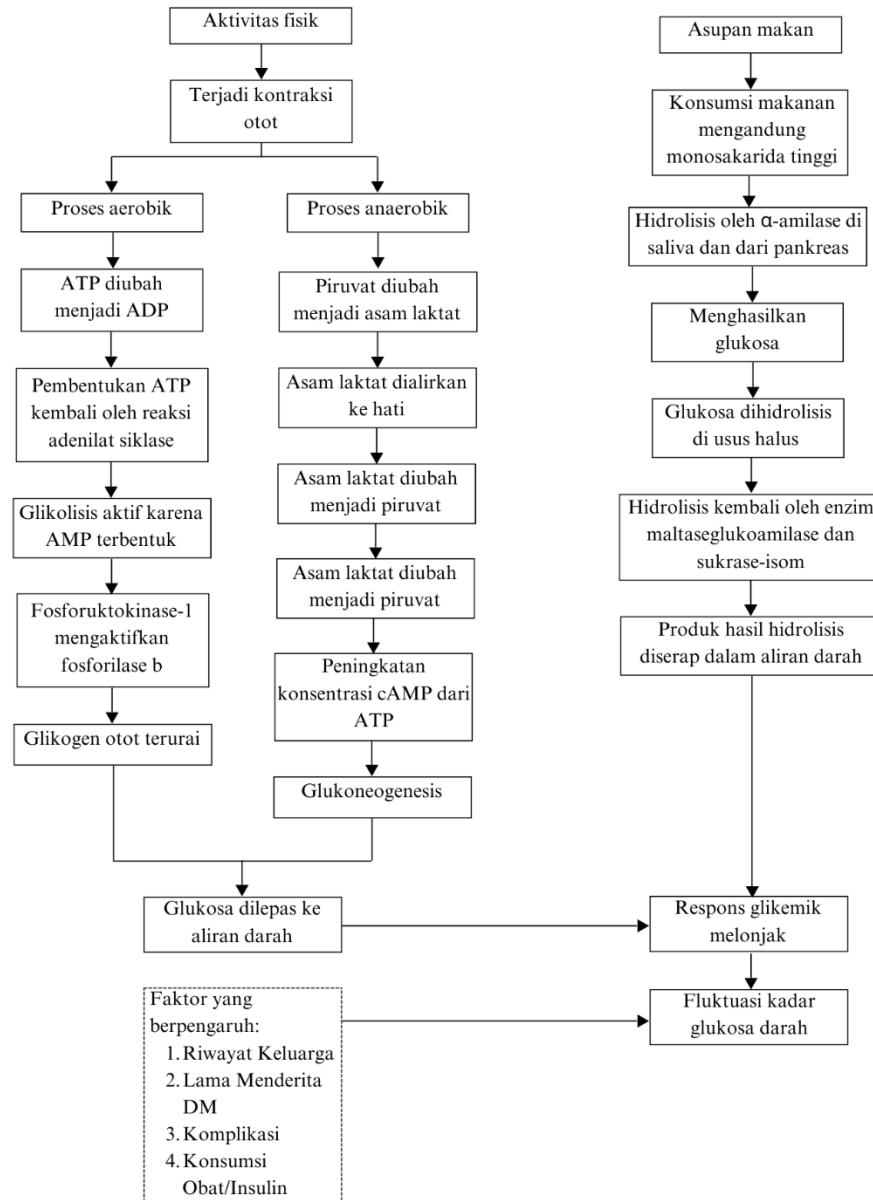
Diet seperti asupan karbohidrat sebelum latihan atau peningkatan ketersediaan substrat selama latihan dapat mengubah regulasi metabolisme selama latihan ketahanan. Glikogen otot memengaruhi aktivitas piruvat dehidrogenase (PDH) selama latihan. Ketersediaan glikogen otot juga dapat memengaruhi pemanfaatan substrat selama latihan (Newell *et al*, 2018).

Penurunan ketersediaan glikogen dikaitkan dengan peningkatan epinefrin dan asam lemak bebas (FFA) plasma yang mendukung peningkatan lipolisis dan oksidasi lemak. Regulasi oksidasi lemak selama latihan dipengaruhi oleh karnitin, kondisi kekurangan glikogen menyebabkan peningkatan konsentrasi karnitin (Leckey *et al*, 2016).

c) Latihan Ketahanan

Latihan ketahanan meningkatkan kapasitas otot rangka untuk menyimpan glikogen dan trigliserida, serta meningkatkan ketersediaan substrat. (Zainaro *et al*, 2022). Latihan juga mengurangi glikogenolisis di otot dan hati, namun meningkatkan glukoneogenesis setelah latihan. Penurunan pengambilan glukosa oleh otot setelah latihan disebabkan oleh berkurangnya translokasi *glucose transporter 4* (GLUT4) ke sarkolema (Yang *et al*, 2019).

B. Kerangka Teori



Gambar 2.1 Kerangka Teori (Dimodifikasi dari Edwards *et al*, 2018; Lande *et al*, 2015; Zainaro *et al*, 2016; Zhu *et al*, 2020; Henggu dan Nurdiansyah, 2021; Lal *et al*, 2021; Yuwana *et al*, 2023)