

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Glukosa Darah

1. Definisi glukosa darah

Glukosa darah adalah bentuk gula yang ditemukan dalam aliran darah dan berasal dari metabolisme karbohidrat yang dikonsumsi melalui makanan. Glukosa yang tidak segera digunakan disimpan sebagai glikogen di hati dan otot rangka. Kadar glukosa darah diatur oleh hormon insulin dan glukagon, yang disekresikan oleh pankreas. Kadar glukosa darah dalam tubuh dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu endogen dan eksogen. Faktor endogen meliputi hormon seperti insulin, glukagon, dan kortisol, yang berperan dalam fungsi reseptor di sel hati dan otot. Sementara itu, faktor eksogen meliputi jumlah dan jenis makanan yang dikonsumsi, yang secara langsung memengaruhi kadar glukosa darah (Rosares & Boy., 2022).

Kadar glukosa darah relatif stabil sepanjang hari, sekitar 4 - 8 mmol / L (70 - 150 mg / dL). Nilai ini biasanya meningkat setelah seseorang makan dan mencapai titik terendah di pagi hari sebelum sarapan. Meskipun disebut gula darah, darah juga mengandung jenis gula lain seperti fruktosa dan galaktosa, tetapi hanya kadar glukosa yang diatur oleh hormon insulin dan leptin. Menjaga kadar glukosa yang seimbang sangat penting karena gangguan pada keseimbangan ini dapat memengaruhi fungsi organ dan berkaitan dengan berbagai gangguan metabolisme, salah satunya adalah diabetes melitus (Nafila dkk., 2020).

2. Metabolisme glukosa darah

Metabolisme glukosa adalah serangkaian proses biokimia yang mengendalikan pencernaan, penyerapan, pemanfaatan, dan penyimpanan glukosa dalam tubuh. Setelah karbohidrat dipecah menjadi glukosa, glukosa diserap oleh usus halus dengan bantuan transporter seperti Sodium-glucose cotransporter 1 (SGLT1), kemudian memasuki aliran darah. Glukosa yang bersirkulasi kemudian didistribusikan ke berbagai jaringan tubuh dan membutuhkan hormon insulin dari pankreas untuk masuk ke dalam sel sebagai energi. Di dalam sel, glukosa mengalami glikolisis, menghasilkan piruvat, yang kemudian memasuki siklus asam sitrat di mitokondria untuk menghasilkan ATP. Jika kadar glukosa melebihi kebutuhan tubuh, hati dan otot menyimpannya sebagai glikogen melalui glikogenesis. Sebaliknya, ketika kadar glukosa rendah, hormon glukagon mendorong pemecahan glikogen menjadi glukosa (glikogenolisis) dan merangsang pembentukan glukosa baru dari bahan non-karbohidrat, seperti asam amino atau laktat, melalui glukoneogenesis (Subiyono dkk., 2021).

Proses metabolisme menghasilkan molekul perantara seperti piruvat, laktat, dan asetil-KoA, yang berperan dalam produksi energi dan metabolisme lemak. Pengaturan metabolisme glukosa yang baik sangat penting untuk menjaga kadar gula darah dalam kisaran normal, khususnya 70 - 110 mg/dL selama puasa, melalui mekanisme hormonal yang melibatkan insulin dan glukagon. (Setianto dkk., 2023).

3. Jenis pemeriksaan glukosa darah

Pemeriksaan glukosa darah digunakan untuk mengukur kadar gula di dalam darah. Ada pun jenis - jenis pemeriksaan untuk mengukur kadar glukosa darah yaitu, sebagai berikut :

a. Pemeriksaan glukosa darah sewaktu (GDS)

Glukosa darah sewaktu (GDS) adalah tes glukosa darah yang dilakukan kapan saja tanpa perlu puasa atau mempertimbangkan waktu makan sebelumnya. Tes ini dilakukan dengan mengambil sampel darah tanpa memperhatikan kapan terakhir kali pasien makan. Hasil tes sel darah merah dilaporkan dalam mg/dL, yang menunjukkan konsentrasi glukosa per desiliter darah. Kadar sel darah merah normal < 140 mg/dL. Kadar glukosa antara 140 - 199 mg/dL menunjukkan gangguan toleransi glukosa atau risiko pradiabetes. Kadar sel darah merah > 200 mg/dL menjadi tanda diabetes melitus, terutama jika disertai gejala klinis khas diabetes seperti peningkatan rasa haus, sering buang air kecil, dan penurunan berat badan yang tidak dapat dijelaskan. Oleh karena itu, tes sel darah merah dapat digunakan sebagai alat skrining awal untuk mendeteksi gangguan metabolisme glukosa dan diabetes tanpa memerlukan persiapan khusus seperti puasa (Edyansyah dkk., 2023).

b. Pemeriksaan glukosa darah puasa (GDP)

Pemeriksaan glukosa darah puasa (GDP) mengukur kadar glukosa darah setelah seseorang berpuasa selama 8-10 jam tanpa mengonsumsi makanan atau minuman berkalori tinggi. Tes ini digunakan untuk menilai kemampuan tubuh dalam mengatur kadar glukosa ketika tidak ada asupan energi dari makanan. GDP

merupakan metode penting untuk mendeteksi gangguan toleransi glukosa dan membantu diagnosis diabetes melitus (Edyansyah dkk., 2023). Kadar normal GDP adalah di bawah 70 – 99 mg/dL, sementara kadar 100 - 125 mg/dL menunjukkan pradiabetes, dan nilai ≥ 126 mg/dL menunjukkan kemungkinan diabetes melitus (Perkeni., 2024).

c. Pemeriksaan glukosa darah 2 jam *postprandial* (GD2PP).

Pemeriksaan glukosa darah 2 jam *postprandial* adalah pengukuran kadar glukosa darah yang dilakukan dua jam setelah seseorang mengonsumsi makanan atau minuman yang mengandung karbohidrat. Tes ini berfungsi untuk menilai bagaimana tubuh merespons peningkatan glukosa setelah makan, sehingga menggambarkan efektivitas kerja insulin dan proses metabolisme glukosa. Tes Glukosa Darah 2 Jam Pasca Makan banyak digunakan untuk mengidentifikasi gangguan toleransi glukosa dan sebagai parameter pemantauan terapi pada pasien diabetes (Nafila dkk., 2020). Kisaran normal GD2PP adalah kurang dari 70 - 139 mg/dL; nilai 140 - 199 mg/dL mengindikasikan pradiabetes, sementara hasil ≥ 200 mg/dL mengindikasikan kemungkinan diabetes melitus (Perkeni, 2024).

d. HbA1c

Pemeriksaan HbA1c adalah indikator yang digunakan untuk menilai kadar glukosa darah rata-rata selama periode 2–3 bulan, atau sekitar 120 hari sebelum pemeriksaan. Pemeriksaan HbA1c ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pemeriksaan glukosa darah lainnya, sehingga direkomendasikan untuk memantau kontrol glukosa darah pada pasien diabetes melitus. HbA1c tidak memerlukan puasa, relatif tidak terpengaruh oleh perubahan gaya hidup jangka

pendek, dan memiliki stabilitas yang lebih baik pada suhu ruangan daripada tes glukosa darah puasa. Peningkatan kadar HbA1c lebih dari 8% menunjukkan diabetes melitus yang tidak terkontrol dan dikaitkan dengan peningkatan risiko komplikasi jangka panjang (Pattian dkk., 2025). Kadar HbA1c diklasifikasikan sebagai normal jika $<5,7\%$, pradiabetes antara $5,7-6,4\%$, dan diabetes jika $\geq 6,5\%$ (Perkeni, 2024).

4. Faktor yang mempengaruhi kadar gula darah

a. Pola makan

Pola makan berperan penting dalam perubahan kadar glukosa darah. Mengonsumsi makanan tinggi karbohidrat, terutama yang memiliki indeks glikemik tinggi, dapat menyebabkan peningkatan kadar gula darah secara cepat. Namun, beberapa penelitian melaporkan bahwa total konsumsi karbohidrat atau gula sederhana tidak selalu menunjukkan hubungan yang signifikan dengan kadar glukosa, tergantung pada kondisi kesehatan dan gaya hidup individu.

b. Aktivitas fisik

Aktivitas fisik telah terbukti memiliki hubungan yang kuat dengan stabilitas gula darah. Olahraga teratur dapat menurunkan kadar glukosa darah dan membantu mengoptimalkan metabolisme glukosa, terutama pada penderita diabetes tipe 2. Sebaliknya, kurangnya aktivitas fisik sering dikaitkan dengan peningkatan kadar gula darah dan merupakan faktor risiko gangguan metabolisme.

c. Usia

Usia juga merupakan faktor yang memengaruhi regulasi gula darah. Seiring bertambahnya usia, terjadi perubahan fungsi organ dan sistem hormonal yang dapat mengganggu metabolisme glukosa. Oleh karena itu, orang dewasa dan lansia lebih rentan terhadap peningkatan kadar gula darah, terutama jika tidak ditunjang dengan gaya hidup sehat.

d. Jenis kelamin

Jenis kelamin dapat memengaruhi kadar glukosa, meskipun tidak sekuat faktor lainnya. Variasi hormonal dan perbedaan distribusi lemak tubuh antara pria dan wanita dapat memengaruhi respons tubuh terhadap metabolisme glukosa.

e. Kepatuhan minum obat

Kepatuhan minum obat, terutama bagi penderita diabetes, memainkan peran penting dalam menjaga kadar gula darah tetap stabil. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa kepatuhan minum obat terkadang tidak berkorelasi signifikan dengan kadar glukosa dibandingkan dengan faktor-faktor seperti aktivitas fisik atau stres. Meskipun demikian, konsumsi obat secara teratur tetap menjadi komponen penting dalam manajemen diabetes jangka panjang.

Secara keseluruhan, pola makan, tingkat aktivitas fisik, usia, jenis kelamin, dan kepatuhan pengobatan berperan dalam memengaruhi kadar gula darah seseorang, terutama pada pasien dengan diabetes melitus tipe 2 (Setianto dkk., 2023).

B. Diabetes Melitus

1. Definisi diabetes melitus

Diabetes Melitus (DM) adalah penyakit tidak menular (PTM) kompleks yang dapat menyebabkan berbagai komplikasi serius. Menurut laporan *World Health Organization* (WHO, 2020), DM didefinisikan sebagai gangguan metabolisme kronis yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah secara terus-menerus, yang berpotensi merusak organ-organ vital seperti jantung, pembuluh darah, mata, ginjal, dan saraf. Lebih lanjut, DM juga dapat diartikan sebagai sekumpulan gejala yang timbul akibat peningkatan kadar gula darah, yang disebabkan oleh penurunan produksi insulin secara bertahap. Diabetes melitus adalah sekelompok gangguan metabolisme yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah, atau hiperglikemia. Hiperglikemia berat dapat memicu berbagai gejala klinis seperti buang air kecil berlebihan (poliuria), haus berlebihan (polidipsia), nafsu makan meningkat (polifagia), penurunan berat badan tanpa sebab yang jelas, kelelahan, penurunan kemampuan fisik, gangguan penglihatan, dan risiko infeksi yang lebih tinggi, baik disertai ketoasidosis maupun tidak. Di sisi lain, hiperglikemia jangka panjang dapat mengganggu fungsi dan/atau produksi insulin, serta menyebabkan kerusakan permanen pada berbagai jaringan dan organ. Secara umum, diabetes melitus dibagi menjadi dua tipe utama: tipe 1 dan tipe 2. Untuk memastikan diagnosis secara biokimia, dilakukan pemeriksaan kadar glukosa darah puasa, tes toleransi glukosa oral, dan penilaian kadar hemoglobin terglikasi (HbA1c) (Suputra dkk., 2021).

T2DM merupakan penyakit metabolik yang disebabkan oleh meningkatnya glukosa dalam darah dan gangguan metabolisme yang terjadi akibat adanya

resistensi terhadap kerja insulin dan gangguan fungsi sel β pankreas sehingga menghambat produksi insulin secara optimal. Kondisi ini muncul akibat gangguan sekresi insulin, kerja insulin, atau kombinasi keduanya. Pada T2DM, pankreas masih memproduksi insulin, tetapi kemampuan hormon tersebut untuk memfasilitasi masuknya glukosa ke dalam sel masih kurang optimal, sehingga mengakibatkan kadar glukosa darah yang terus-menerus tinggi. Diabetes tipe ini paling umum terjadi pada orang dewasa, tetapi kasusnya semakin banyak ditemukan pada kelompok usia yang lebih muda karena perubahan gaya hidup dan faktor keturunan. T2DM mencakup masalah pada berbagai organ tubuh pada suatu kondisi di mana sel beta pankreas tidak mampu memproduksi insulin yang cukup untuk mengatasi peningkatan resistensi insuli (Febrianti & Ekawati, 2025).

2. Patofisiologi diabetes melitus tipe 2

Patofisiologi diabetes melitus terbagi menjadi dua yakni diabetes melitus tipe 1 dan diabetes melitus tipe 2. Keduanya merupakan keadaan dengan kadar gula darah yang tinggi dalam darah. Akan tetapi, patofisiologi antar keduanya berbeda. Diabetes melitus tipe 1 terjadi akibat kerusakan dari sel β pankreas itu sendiri sehingga produksi insulin oleh sel β pankreas terganggu. Pada diabetes tipe 2, terjadi akibat adanya kerusakan atau gangguan reseptor dari insulin sehingga fungsi insulin menjadi terganggu. Pada dasarnya, hormon insulin yang dihasilkan oleh sel β pankreas berjumlah normal atau meningkat dalam tubuh, namun akibat reseptor insulin resisten atau terganggu pada permukaan sel menyebabkan glukosa yang seharusnya masuk ke dalam sel menjadi lebih sedikit. Glukosa-glukosa yang sel harusnya dapat masuk ke dalam sel tersebut tetap tertinggal di dalam pembuluh darah, akibatnya kadar gula dalam darah meningkat (Fitri dkk., 2024).

Penyebab utama T2DM adalah ketidakmampuan sel target insulin untuk merespons insulin secara normal, suatu kondisi yang dikenal sebagai resistensi insulin. Resistensi insulin adalah suatu kondisi di mana sel-sel tubuh tidak mampu merespons insulin secara optimal, sehingga mengakibatkan penurunan efektivitas hormon ini dalam mengatur metabolisme glukosa dan aktivitas seluler. Akibatnya, tubuh membutuhkan kadar insulin yang lebih tinggi untuk menjaga keseimbangan kadar glukosa darah. Dalam kondisi ini, jaringan seperti otot rangka, lemak, dan hati menunjukkan penurunan sensitivitas insulin, sehingga mengurangi penyerapan glukosa ke dalam sel. Kondisi ini menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah dan merangsang pankreas untuk memproduksi lebih banyak insulin guna menjaga homeostasis glukosa. Resistensi ini umumnya dipicu oleh faktor - faktor seperti obesitas, kurangnya aktivitas fisik, dan proses penuaan. Lebih lanjut, pada penderita T2DM, produksi glukosa oleh hati cenderung meningkat melebihi batas normal bahkan tanpa kerusakan pada sel β pankreas (Fitri dkk., 2024).

3. Faktor yang mempengaruhi diabetes melitus tipe 2

Jumlah penderita diabetes melitus (DM) terus meningkat setiap tahunnya karena berbagai faktor, termasuk riwayat penyakit dalam keluarga yang dapat diturunkan ke generasi berikutnya, pola makan yang tidak sehat, dan semakin banyaknya orang dewasa dan lansia yang lebih rentan akibat penurunan fungsi organ. Lebih lanjut, gaya hidup yang tidak sehat, obesitas atau kelebihan berat badan, serta rendahnya tingkat pendidikan dan pengetahuan tentang DM juga berkontribusi terhadap peningkatan kasus penyakit DM (Setianto dkk., 2023).

a. Insulin

Insulin berperan penting dalam mengatur kadar glukosa darah dan menjaga keseimbangan metabolisme tubuh. Hubungan antara insulin dan glukosa sangat erat, karena insulin membantu sel-sel tubuh menyerap glukosa untuk digunakan sebagai sumber energi. Kadar insulin yang adekuat menjaga kadar glukosa darah normal. Namun, jika insulin kekurangan atau fungsinya terganggu, kadar glukosa darah akan meningkat, yang menyebabkan hiperglikemia. Keseimbangan antara kadar insulin dan glukosa berperan penting dalam mendukung metabolisme yang optimal, stabilitas energi, dan kesehatan organ secara keseluruhan. Pada penderita diabetes melitus, gangguan produksi dan fungsi insulin merupakan penyebab utama ketidakseimbangan glukosa darah. Oleh karena itu, peran insulin dan efek obat-obatan tertentu sangat penting, karena keduanya berkontribusi signifikan terhadap kontrol glukosa darah dan status metabolisme.

b. Anemia

Pada T2DM, kadar gula darah tinggi akibat resistensi atau defisiensi insulin memainkan peran penting dalam perkembangan berbagai komplikasi. Kadar gula darah tinggi ini dapat dikaitkan dengan faktor-faktor penyebab anemia, seperti peradangan kronis, peningkatan stres oksidatif, dan akumulasi produk akhir glikasi lanjut (AGEs). Selain itu, komplikasi seperti nefropati dan neuropati diabetik dapat menyebabkan penurunan respons eritropoietin, gangguan produksi sel darah merah, dan kerusakan sumsum tulang. Penggunaan obat antidiabetes tertentu juga dapat berkontribusi pada anemia pada penderita T2DM (Saraswati dkk., 2023).

Anemia merupakan faktor risiko yang diketahui untuk penyakit kardiovaskular dan penyakit ginjal stadium akhir pada penderita diabetes melitus. Anemia juga dapat memengaruhi interpretasi hasil tes glukosa darah, khususnya hemoglobin terglikasi (HbA1c), karena perubahan jumlah dan masa hidup sel darah merah dapat menyebabkan hasil HbA1c yang tidak akurat (lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai sebenarnya). Selain itu, kondisi medis yang mendasarinya seperti peradangan kronis, disfungsi ginjal, atau ketidakseimbangan metabolisme yang sering menyertai anemia pada pasien diabetes tipe 2 dapat secara tidak langsung memengaruhi kadar glukosa darah (Katwal et al.,2020).

c. Pola makan

Asupan karbohidrat yang berlebihan dapat meningkatkan kadar glukosa darah, sehingga penderitanya berisiko mengalami hiperglikemia. Selain karbohidrat, penderita diabetes melitus juga perlu mengontrol konsumsi gula atau pemanis buatan, makanan berlemak, dan protein. Semakin sedikit karbohidrat yang dikonsumsi, kadar gula darah cenderung lebih stabil. Penelitian menunjukkan bahwa kelebihan karbohidrat dapat menyebabkan obesitas dan penurunan sensitivitas insulin karena pada penderita diabetes, jaringan tubuh tidak mampu menyimpan glukosa secara optimal.

d. Aktivitas fisik

Menurut Eberle (2020), aktivitas fisik merupakan salah satu bentuk terapi yang efektif untuk mengatasi berbagai kondisi kesehatan, terutama pada penderita DM. Melalui aktivitas fisik, kadar gula darah dapat diturunkan, sirkulasi darah membaik, massa otot meningkat, dan metabolisme tubuh bekerja lebih optimal.

Aktivitas olahraga seperti berlari membutuhkan lebih banyak energi dibandingkan aktivitas ringan seperti berjalan. Semakin sering seseorang berolahraga, kadar gula darahnya cenderung semakin rendah. Oleh karena itu, untuk menjaga kadar glukosa darah tetap stabil, penderita DM disarankan untuk melakukan aktivitas fisik secara teratur dengan bimbingan atau konsultasi dari tenaga kesehatan profesional, sebagaimana juga dijelaskan oleh *American Diabetes Association* (ADA, 2022) yang menekankan pentingnya aktivitas fisik terencana dalam pengendalian glikemik pada pasien diabetes.

e. Usia

Usia merupakan faktor signifikan yang memengaruhi kadar glukosa pada penderita T2DM. Seiring bertambahnya usia, fungsi fisiologis tubuh menurun, termasuk kemampuan sel untuk merespons insulin. Kondisi ini mengakibatkan pemanfaatan glukosa yang kurang optimal, sehingga meningkatkan kemungkinan hiperglikemia. Lebih lanjut, proses penuaan biasanya disertai dengan penurunan massa otot dan peningkatan lemak tubuh, yang keduanya dapat memperburuk resistensi insulin. Pada orang dewasa dan lansia, perubahan hormonal dan penurunan aktivitas fisik juga berkontribusi terhadap peningkatan kadar glukosa darah. Oleh karena itu, usia merupakan faktor yang memengaruhi stabilitas gula darah pada penderita T2DM

f. Jenis kelamin

Jenis kelamin memengaruhi kadar glukosa darah pada T2DM meskipun pengaruhnya tidak sekuat faktor usia atau gaya hidup. Perbedaan hormonal antara pria dan wanita berkontribusi terhadap variasi metabolisme glukosa dan respons

tubuh terhadap insulin. Pada wanita, perubahan kadar estrogen terutama menjelang menopause dapat meningkatkan resistensi insulin dan memfasilitasi peningkatan glukosa darah. Sementara itu, pada laki-laki kecenderungan menyimpan lemak di area perut sering dikaitkan dengan resistensi insulin yang lebih tinggi. Variasi komposisi tubuh, kebiasaan aktivitas, dan faktor fisiologis lainnya antara kedua jenis kelamin dapat memengaruhi perbedaan kadar glukosa darah pada pasien T2DM.

g. Lama terdiagnosis diabetes melitus tipe 2

Lamanya seseorang terdiagnosis DM merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap perubahan kadar glukosa darah. Seiring bertambahnya lama penyakit, kemampuan tubuh untuk mempertahankan kontrol glikemik menurun. Kondisi ini disebabkan oleh menurunnya fungsi sel β pankreas dalam memproduksi insulin, sehingga mengakibatkan berkurangnya sekresi insulin dan meningkatnya kadar glukosa darah. Lama penyakit yang panjang juga dapat memperparah resistensi insulin, yaitu kondisi di mana jaringan tubuh tidak mampu merespons insulin secara optimal, sehingga glukosa tidak dapat masuk ke dalam sel secara efektif. Kepatuhan terhadap terapi dan penerapan pola hidup sehat juga cenderung menurun seiring dengan lamanya penyakit, yang turut memengaruhi kestabilan kadar glukosa darah. Pasien dengan durasi DM yang lebih lama berisiko mengalami komplikasi kronis, seperti nefropati diabetik dan neuropati diabetik, yang dapat memperburuk kontrol glikemik. Oleh karena itu, lamanya penyakit DM perlu diperhatikan sebagai faktor penting dalam upaya pengelolaan kadar glukosa darah dan pencegahan komplikasi jangka panjang.

h. Penggunaan obat – obatan

Obat-obatan memiliki peran penting dalam memengaruhi kadar glukosa darah, karena beberapa golongan obat dapat mengubah metabolisme glukosa dan respons tubuh terhadap insulin. Kortikosteroid seperti prednison dan deksametason diketahui dapat meningkatkan kadar glukosa darah dengan menstimulasi glukoneogenesis di hati dan menurunkan sensitivitas sel terhadap insulin, sehingga meningkatkan produksi dan pelepasan glukosa ke dalam darah. Sementara itu, diuretik tiazid (misalnya, hidroklorotiazid) dapat meningkatkan kadar glukosa dengan menurunkan sekresi insulin dan mengganggu metabolisme glukosa akibat hilangnya kalium dari tubuh. Lebih lanjut, kontrasepsi hormonal yang mengandung kombinasi estrogen dan progesteron juga berpotensi meningkatkan kadar glukosa darah dengan meningkatkan resistensi insulin di jaringan perifer. Oleh karena itu, penggunaan obat-obatan tertentu memerlukan perhatian khusus karena dapat memengaruhi kontrol glukosa, terutama pada individu yang berisiko atau memiliki riwayat diabetes melitus (Kartono dkk., 2020).

4. Pemeriksaan laboratorium diabetes melitus tipe 2

Seseorang berpotensi terkena penyakit DM karena kadar gula (glukosa) di dalam darah yang melebihi batas normal akibat kekurangan insulin, baik secara mutlak maupun relatif. Insulin adalah hormon yang dihasilkan oleh sel beta di pankreas, sebuah kelenjar yang terletak di belakang lambung dan berfungsi untuk mengatur metabolisme glukosa menjadi energi serta mengubah kelebihan glukosa menjadi glikogen yang tersimpan di hati dan otot-otot. Kontrol kadar plasma gula darah pada penyakit DM dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu pemeriksaan

Gula Darah Puasa (GDP), pemeriksaan gula darah 2 jam *postprandial* (GD2PP), pemeriksaan HbA1C, dan pemeriksaan glukosa darah sewaktu (GDS) (Hartini., 2021).

a. Pemeriksaan glukosa darah puasa (GDP)

Kadar glukosa darah puasa (GDP) merupakan indikator penting untuk identifikasi dini gangguan metabolisme glukosa. Glukosa darah puasa merupakan pemeriksaan kadar glukosa darah yang dilakukan setelah pasien puasa selama 8-10 jam. Pasien diminta untuk melakukan puasa sebelum melakukan tes untuk menghindari adanya peningkatan gula darah lewat makanan yang mempengaruhi hasil tes. Pemeriksaan GDP secara teratur sangat dianjurkan untuk semua usia, mulai dari remaja hingga lansia, karena banyak orang yang tidak menyadari tanda-tanda awal diabetes. Jika kadar glukosa darah tidak terkontrol dalam jangka panjang, hal ini dapat meningkatkan risiko berbagai komplikasi kronis seperti kerusakan ginjal (nefropati), kerusakan retina (retinopati), kerusakan saraf (neuropati), serta penyakit jantung dan pembuluh darah, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan kualitas hidup dan beban yang lebih besar pada sistem pelayanan kesehatan (Edyansyah dkk., 2023). Glukosa darah puasa mempunyai kadar normal 70-99 mg/dl (Perkeni, 2024).

b. Pemeriksaan glukosaa darah 2 jam *postprandial* (GD2PP)

Tes glukosa darah 2 jam *postprandial* (GD2PP) adalah tes umum yang dilakukan pada pasien diabetes melitus setelah berpuasa selama kurang lebih 8 jam. Tes ini memainkan peran penting dalam memantau dan mengendalikan kadar glukosa darah pada pasien DM. Tes GD2PP bertujuan untuk menentukan kadar

glukosa darah dua jam setelah makan. Prosedur tes dimulai dengan pengambilan sampel darah puasa, diikuti dengan makan normal. Dua jam setelah makan, kadar glukosa darah diukur kembali untuk menilai respons tubuh terhadap peningkatan glukosa. Namun, standarisasi tes ini sulit dilakukan karena ketidakmampuan untuk menstandarisasi jenis dan jumlah makanan yang dikonsumsi serta keterbatasan dalam pemantauan pasien selama interval dua jam (Muzammil dkk., 2025). Kadar GD2PP diklasifikasikan sebagai normal 70-139 mg/dl, pradiabetes antara 140 – 199 mg/dL, dan diabetes jika ≥ 200 mg/dL (Perkeni, 2024).

c. Pemeriksaan glukosa darah sewaktu (GDS)

Pemeriksaan glukosa darah sewaktu (GDS) adalah untuk mengukur kadar gula darah pada waktu tertentu, terlepas dari waktu makan atau kondisi fisik. Pemeriksaan ini tidak mengharuskan puasa atau waktu makan tertentu, sehingga dapat dilakukan kapan saja. Biasanya, pengukuran dilakukan hingga empat kali sehari, sebelum makan dan sebelum tidur, dan dapat dilakukan secara mandiri oleh pasien. Nilai GDS > 200 mg/dl menandakan diabetes (Perkeni, 2024). Meskipun GDS tidak dapat digunakan untuk mendiagnosis diabetes melitus, pemeriksaan ini dapat digunakan sebagai alat skrining awal, terutama pada individu yang menunjukkan gejala klinis khas diabetes. Deteksi dini penyakit ini sangat penting karena komplikasi dapat terjadi jika tidak ditangani secara efektif. Oleh karena itu, pemeriksaan gula darah sewaktu secara teratur sangat penting untuk menentukan apakah kadar gula darah seseorang berada dalam batas normal atau menunjukkan kelainan (Abdimas, 2023).

d. Pemeriksaan HbA1c

Pemeriksaan HbA1c adalah indikator untuk mengevaluasi risiko kerusakan jaringan akibat kadar glukosa darah tinggi. HbA1c adalah sejenis hemoglobin terglukasi, yang terbentuk melalui pengikatan molekul glukosa ke hemoglobin A (HbA) dalam sel darah merah. Kadar HbA1c yang tinggi menunjukkan konsentrasi glukosa darah rata-rata yang tinggi. Kadar HbA1c tetap konstan sepanjang umur sel darah merah, yaitu sekitar 100 hingga 120 hari, sehingga hasil tes ini mencerminkan kadar glukosa darah rata-rata selama 2 hingga 3 bulan sebelumnya. Secara molekuler, HbA1c memiliki rumus kimia N-(1-deoksifruktosil) - hemoglobin atau N-(1-deoksifruktosa-1-il) pada rantai beta hemoglobin (Marunduh.,2021).

Pemeriksaan HbA1c lebih stabil daripada pemeriksaan glukosa darah lainnya karena lebih objektif dan tidak terpengaruh oleh kadar glukosa harian. Selain itu, tes HbA1c tidak memerlukan persiapan puasa seperti tes lainnya. HbA1c terdapat dalam sel darah merah dan terdegradasi selama masa hidup sel darah merah, yaitu 90-120 hari, sesuai dengan masa hidup sel darah merah. Inilah sebabnya mengapa kadar HbA1c dapat memantau kadar glukosa darah selama 2 - 3 bulan. Kadar HbA1c akan kembali normal setelah kadar glukosa terkendali. Tidak seperti tes GDS dan GDP, kadar HbA1c relatif stabil karena tidak terpengaruh oleh perubahan glukosa darah harian. Peran pemeriksaan HbA1c dalam mendukung manajemen diabetes melitus meliputi skrining, diagnosis, dan pemantauan pengendalian penyakit. Kadar HbA1c diklasifikasikan sebagai normal jika $<5,7\%$, pradiabetes antara $5,7-6,4\%$, dan diabetes jika $\geq 6,5\%$ (Perkeni, 2024).

C. Glukosa Darah Puasa

1. Definisi

Kadar glukosa darah puasa (GDP) adalah parameter laboratorium yang digunakan untuk menilai kadar glukosa darah setelah seseorang berpuasa selama 8–12 jam. Pemeriksaan GDP memiliki peran penting dalam deteksi dini gangguan metabolisme glukosa dan sering digunakan sebagai dasar untuk mendiagnosis diabetes melitus. Pemeriksaan glukosa darah puasa direkomendasikan secara berkala, terutama pada lansia, karena gejala awal diabetes seringkali tidak dikenali pada kelompok ini. Kadar glukosa darah yang tidak terkontrol dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko komplikasi kronis, seperti nefropati, retinopati, neuropati, dan penyakit kardiovaskular, yang pada akhirnya mengurangi kualitas hidup pasien dan meningkatkan beban pada layanan kesehatan (Edyansyah dkk., 2023).

2. Metabolisme

Metabolisme glukosa darah puasa memainkan peran penting sebagai sumber energi utama tubuh. Glukosa yang diserap melalui dinding usus masuk ke aliran darah dan kemudian diangkut ke hati untuk sintesis glikogen. Glikogen ini kemudian dapat dioksidasi menjadi karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) dan dilepaskan kembali ke sirkulasi untuk didistribusikan ke sel-sel yang membutuhkan, terutama otak. Kadar glukosa darah diatur oleh hormon insulin, yang disekresikan oleh sel beta pankreas. Jika produksi atau fungsi insulin menurun, glukosa tidak dapat dimanfaatkan secara optimal oleh sel, sehingga

terjadi penumpukan glukosa dalam aliran darah, yang menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah.

Asam piruvat, asam laktat, dan asetil koenzim A (Asetil-CoA) adalah produk metabolisme glukosa yang berperan dalam produksi energi. Tahap awal metabolisme glukosa dimulai dengan glikogenolisis, yaitu pemecahan glikogen menjadi glukosa, dibantu oleh enzim glikogen fosforilase. Dalam proses ini, glukosa-1-fosfat dilepaskan dan kemudian diubah menjadi glukosa-6-fosfat dengan bantuan enzim fosfoglukomutase. Pada tahap akhir, enzim glukosa-6-fosfatase berperan dalam defosforilasi glukosa-6-fosfat, menghasilkan pembentukan glukosa bebas. Dalam proses metabolisme selanjutnya, glukosa dipecah menjadi asam piruvat, yang kemudian diubah menjadi dua molekul asetil-koenzim A sebagai bagian dari jalur produksi energi (Triana, 2019).

3. Pemeriksaan laboratorium glukosa darah puasa

Pemeriksaan glukosa darah puasa (GDP) adalah tes laboratorium yang digunakan untuk mengukur kadar glukosa darah setelah seseorang berpuasa selama 8 - 12 jam. Pemeriksaan ini bertujuan untuk menilai kemampuan tubuh dalam mempertahankan kadar glukosa darah yang stabil pada tingkat basal, terlepas dari asupan makanan. Oleh karena itu, glukosa darah puasa merupakan indikator penting dalam skrining, diagnosis, dan evaluasi pengendalian glukosa darah pada penderita diabetes melitus. Pengambilan sampel untuk pemeriksaan GDP biasanya menggunakan darah vena, yang kemudian dianalisis di laboratorium klinis. Namun, dalam praktik tertentu, pengujian juga dapat dilakukan menggunakan darah kapiler dengan menggunakan glukometer (Edyansyah dkk., 2023). Metode laboratorium yang paling umum digunakan adalah metode enzimatik, seperti

glukosa oksidase-peroksidase (GOD-PAP) dan metode heksokinase, yang dikenal karena akurasi dan presisinya yang tinggi dalam mengukur kadar glukosa darah (Martsiningsih & Gabrela, 2020). Hasil tes glukosa darah puasa diinterpretasikan sebagai berikut :

Tabel 1.
Nilai Normal Kadar Gula Darah Puasa

Kategori	Kadar (mg/dL)
Normal	70 - 99
Pradiabetes	100 - 125
Diabetes	> 126

(Perkeni, 2024)

D. HbA1c

1. Definisi HbA1c

Hemoglobin terglikasi (HbA1c) didefinisikan sebagai fraksi hemoglobin A yang mengalami glikasi karena ikatan non-enzimatik antara glukosa dan hemoglobin dalam sel darah merah. Tes HbA1c adalah tes laboratorium yang digunakan untuk menggambarkan kadar glukosa darah rata-rata selama masa hidup sel darah merah, yaitu sekitar 2 - 3 bulan. Kadar HbA1c yang tinggi pada penderita diabetes melitus menunjukkan paparan glukosa darah yang tinggi dan dikaitkan dengan peningkatan risiko berbagai komplikasi kronis. Pada pasien diabetes melitus, kadar HbA1c dianjurkan untuk dipertahankan di bawah 8% sebagai indikator kontrol glikemik yang baik. Penurunan kadar HbA1c sebesar 1% dilaporkan dapat mengurangi risiko gangguan pembuluh darah sebesar 35%, mengurangi risiko komplikasi diabetes melitus lainnya sebesar 21%, dan mengurangi risiko kematian sebesar 21%, seperti yang dilaporkan dalam Studi Diabetes Prospektif Inggris Raya. Nilai HbA1c dalam kisaran normal

mencerminkan tingkat kepatuhan pasien terhadap diet, aktivitas fisik, dan terapi pengobatan, sehingga menunjukkan kontrol glukosa darah yang optimal selama tiga bulan terakhir (Pattian dkk., 2025).

2. Proses pembentukan HbA1c

Hemoglobin terglikasi (HbA1c) diproduksi melalui reaksi glikasi non-enzimatis antara glukosa dalam darah dan hemoglobin A dalam eritrosit. Proses ini terjadi terus menerus sepanjang masa hidup sel darah merah, yaitu sekitar ± 120 hari. Awalnya, glukosa berikatan dengan gugus amino terminal rantai beta hemoglobin, membentuk senyawa sementara yang tidak stabil. Kemudian, glukosa mengalami perubahan struktural menjadi bentuk yang lebih stabil, yaitu HbA1c. Tingkat pembentukan HbA1c sangat bergantung pada konsentrasi glukosa darah yang beredar. Kadar glukosa darah yang lebih tinggi menghasilkan proporsi hemoglobin terglikasi yang lebih besar, yang menyebabkan peningkatan kadar HbA1c. Sel darah merah, yang tidak memiliki inti dan kemampuan untuk mensintesis protein, mempertahankan hemoglobin terglikasi hingga sel-sel tersebut mengalami kerusakan fisiologis. HbA1c tidak diproses secara metabolik dalam tubuh tetapi secara alami menurun seiring dengan penghancuran sel darah merah yang menua oleh sistem retikuloendotelial. Oleh karena itu, kadar HbA1c mencerminkan (Septian dkk., 2024)

3. Pemeriksaan laboratorium HbA1c

Menurut Iqbal, Rostini, & Suraya (2024) pemeriksaan hemoglobin terglikasi (HbA1c) adalah tes laboratorium yang digunakan untuk menggambarkan kadar glukosa darah rata-rata selama 2 - 3 bulan sebelumnya. HbA1c terbentuk melalui

proses glikasi non-enzimatik antara glukosa yang beredar dan hemoglobin dalam sel darah merah. Oleh karena itu, kadar HbA1c mencerminkan paparan glukosa darah jangka panjang. Pemeriksaan HbA1c memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pemeriksaan glukosa darah lainnya, termasuk tidak memerlukan puasa, relatif tahan terhadap fluktuasi jangka pendek kadar glukosa darah, dan stabilitas sampel yang baik pada suhu ruangan. Pemeriksaan ini umumnya dilakukan menggunakan sampel darah vena dan dianalisis menggunakan alat afinitas HbA1c dengan metode laboratorium afinitas *boronate* otomatis yang cepat (*Point-Care Testing/POCT*) yang menggunakan prinsip kimia untuk mengukur hemoglobin yang terikat glukosa (HbA1c) dalam darah lengkap, dan menggunakan alat HbA1c *chamber* dengan metode *Afinitas Boronate Assay* atau *Immunofluorescence* yang memisahkan hemoglobin triglikasi dari hemoglobin non-glikasi berdasarkan perbedaan struktur atau reaksi imunologis untuk hasil cepat dengan cartridge sekali pakai.

Tabel 2.

Nilai Normal HbA1c

Kategori	Presentase (%)
Normal	< 5,7
Pradiabetes	5,7 – 6,4
Diabetes	> 6,5

(Perkeni, 2024)

E. Hubungan Glukosa Darah Puasa (GDP) dengan HbA1c

Glukosa darah puasa dan HbA1c adalah dua parameter laboratorium yang berperan penting dalam mengevaluasi kontrol glikemik pada pasien diabetes melitus tipe 2. GDP menggambarkan kadar glukosa darah basal setelah minimal 8 jam puasa, yang mencerminkan kemampuan tubuh untuk mempertahankan

homeostasis glukosa melalui kerja insulin endogen. Sementara itu, HbA1c mencerminkan kadar glukosa darah rata-rata selama 2-3 bulan terakhir melalui proses glikasi non-enzimatik antara glukosa dan hemoglobin dalam eritrosit, sehingga berfungsi sebagai indikator kontrol glikemik jangka panjang.

Secara patofisiologis, T2DM ditandai oleh resistensi insulin dan gangguan sekresi insulin, yang menyebabkan peningkatan produksi glukosa endogen, terutama melalui glukoneogenesis dan glikogenolisis di hati. Kondisi ini berkontribusi pada peningkatan kadar glukosa darah puasa yang terus-menerus. Hiperglikemia puasa kronis meningkatkan paparan glukosa terhadap hemoglobin, yang menyebabkan peningkatan kadar HbA1c. Dengan demikian, kadar gula darah puasa yang tinggi secara berulang berkontribusi langsung pada peningkatan HbA1c dan mencerminkan kontrol glikemik jangka panjang yang buruk (Hasanah & Ikawati, 2021). Febrianti dan Ekawati (2026) dalam penelitian “Korelasi Glukosa Darah Puasa dengan HbA1c pada Pasien Diabetes Tipe 2 di Rumah Sakit Daerah Lubuk Basung” menemukan korelasi positif yang kuat dan signifikan antara glukosa darah puasa dan HbA1c pada pasien diabetes tipe 2 ($r = 0,8678$; $p < 0,05$). Hasil ini menegaskan bahwa peningkatan glukosa darah puasa berhubungan langsung dengan peningkatan kadar HbA1c, yang berarti bahwa GDP dapat menjadi indikator awal pengendalian glikemik dan HbA1c dapat menjadi standar penilaian jangka panjang.

Secara teoritis, hiperglikemia puasa yang persisten atau berulang dapat secara langsung berkontribusi pada peningkatan akumulasi glukosa darah jangka panjang. Oleh karena itu, melalui analisis nilai HbA1c sebagai representasi beban glikemik rata-rata, kadar GDP diharapkan dapat dibenarkan sebagai indikator awal untuk

mendeteksi risiko kontrol glikemik yang buruk pada pasien T2DM. HbA1c digunakan sebagai *gold standard* untuk memantau kontrol glikemik jangka panjang, tetapi tes ini memiliki keterbatasan dalam hal biaya dan ketersediaan, terutama di fasilitas perawatan kesehatan tertentu. Oleh karena itu, GDP dapat digunakan sebagai parameter alternatif atau pendukung dalam mengevaluasi kontrol glikemik. Hubungan signifikan antara GDP dan HbA1c menunjukkan bahwa pengujian GDP dapat memberikan indikasi awal tren peningkatan HbA1c, khususnya pada pasien dengan hiperglikemia puasa yang persisten. Dengan demikian, hubungan antara GDP dan HbA1c menegaskan bahwa kedua parameter tersebut saling melengkapi dalam menilai kontrol glikemik pada pasien T2DM. Pemeriksaan GDP memiliki peran penting dalam pemantauan jangka pendek dan deteksi dini hiperglikemia, sedangkan HbA1c mencerminkan efektivitas kontrol glikemik jangka panjang. (Budiamal dkk., 2020)