

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Glukosa Darah

1. Pengertian glukosa darah

Gula darah (*blood glucose*) merupakan monosakarida yang memegang peranan penting sebagai sumber karbon dan energi utama bagi manusia, hewan, maupun tumbuhan. Glukosa tidak hanya berfungsi sebagai bahan bakar utama bagi tubuh, tetapi juga menjadi komponen penting dalam sintesis berbagai senyawa non-karbohidrat. Di dalam tubuh, Glukosa dapat diubah menjadi berbagai senyawa, termasuk asam lemak, kolesterol, hormon steroid, asam amino, dan asam nukleat. Namun, beberapa senyawa esensial, seperti vitamin, asam amino esensial, dan asam lemak esensial, tidak dapat disintesis dari glukosa, sehingga tubuh harus memperoleh senyawa-senyawa tersebut melalui asupan makanan (Djakani, Masinem dan Mewo., 2013).

2. Metabolisme glukosa darah

Glukosa berperan sebagai bahan bakar utama yang digunakan oleh tubuh manusia untuk memenuhi kebutuhan energinya. Saat kita mengonsumsi makanan yang mengandung gula, terutama dalam bentuk disakarida, tubuh akan memprosesnya untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan, proses pencernaan terjadi di usus halus. Enzim khusus seperti maltase, sukrase, dan laktase akan memecah gula tersebut menjadi bentuk yang lebih sederhana, yaitu monosakarida. Setelah mengalami proses pemecahan menjadi monosakarida, gula tersebut kemudian diserap melalui dinding usus halus sebelum akhirnya masuk ke dalam sistem peredaran darah tubuh (Firgiansyah., 2016).

Glukosa mengalami konversi menjadi piruvat melalui proses glikolisis, yang dapat berlangsung tanpa kehadiran oksigen (kondisi anaerob). Dalam kondisi ini, piruvat selanjutnya diubah menjadi laktat. Sebaliknya, pada jaringan yang memiliki oksigen cukup, piruvat akan diubah terlebih dahulu menjadi asetil-CoA, kemudian senyawa ini masuk ke dalam siklus asam sitrat untuk menjalani proses oksidasi sempurna hingga menghasilkan CO_2 dan H_2O . Proses ini juga menghasilkan energi dalam bentuk ATP melalui fosforilasi oksidatif (Firgiansyah., 2016).

Proses ini dikenal sebagai homeostasis glukosa. Ketika kadar gula darah menurun secara signifikan, tubuh mengalami kondisi yang disebut hipoglikemia. Dalam situasi seperti ini, tubuh akan memecah glikogen yang tersimpan di hati melalui jalur glikogenolisis untuk melepaskan glukosa ke dalam aliran darah. Selain itu, hati juga dapat menghasilkan glukosa baru melalui proses glukoneogenesis, proses ini bertujuan untuk menghasilkan glukosa dari berbagai senyawa seperti asam laktat, gliserol, maupun asam amino. Jika kebutuhan energi tubuh masih belum tercukupi, tubuh akan beralih menggunakan asam lemak dari jaringan adiposa sebagai sumber energi alternatif. Sebaliknya, ketika kadar gula darah meningkat (hiperglikemia), tubuh menyimpan kelebihan glukosa dengan mengubahnya menjadi glikogen di hati dan otot serta lemak (trigliserida) di jaringan adiposa. Keseimbangan antara penggunaan dan penyimpanan glukosa, baik saat puasa maupun setelah makan, diatur oleh dua hormon utama, yaitu insulin dan glukagon, yang memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas metabolisme tubuh (Rohr and Aebi-Popp., 2023).

3. Nilai normal glukosa darah

Kadar gula darah saat puasa dianggap normal jika berada dalam rentang 75–115 mg/dL. Namun, jika berada di antara 115–140 mg/dL, kondisi tersebut dikategorikan sebagai batas normal atau borderline (Rahmatunisa, Ali and MS, 2021). Kadar gula darah pada umumnya dipertahankan dalam rentang stabil sekitar 4–8 mmol/L (70–150 mg/dL) sepanjang hari. Setiap sel dalam tubuh secara kontinu menerima glukosa sebagai sumber energi utama. Tubuh bekerja secara dinamis untuk menjaga kestabilan kadar gula darah, dengan rata-rata pada orang dewasa sekitar 80–100 mg/dL, sedangkan pada anak-anak berkisar 80–90 mg/dL. Kadar gula darah cenderung meningkat setelah makan dan biasanya mencapai titik terendah sebelum sarapan pagi (Rohr and Aeibi-Popp., 2023).

B. Minuman Beralkohol Bir

Alkohol merupakan senyawa alifatik yang memiliki satu gugus –OH. Senyawa ini sering dimanfaatkan sebagai pelarut, dengan jenis-jenis yang umum dijumpai antara lain metanol, etanol, dan isopropanol. Penting untuk membedakan antara minuman beralkohol dan alkohol murni. Alkohol murni (100%) sangat berbahaya bahkan dapat bersifat mematikan, sehingga tidak boleh dikonsumsi (Lestari, 2016). Minuman beralkohol merupakan salah satu jenis minuman yang mengandung etanol (C_2H_5OH) dan umumnya dihasilkan melalui proses fermentasi dan/atau distilasi dari bahan pertanian yang kaya akan karbohidrat. Minuman ini juga dapat dibuat dengan mencampurkan etanol ke dalam konsentrat atau dengan mengencerkan minuman yang sudah mengandung etanol. Berdasarkan kadar alkoholnya, minuman beralkohol dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok berikut.

1. Kelas A, jenis minuman beralkohol yang mengandung etanol sekitar 1% sampai 5%, seperti bir.
2. Kelas B, yang meliputi minuman beralkohol dengan kandungan etanol antara 5% hingga 20%, contohnya Martini, Port, dan Anggur.
3. Kelas C, yang terdiri dari minuman beralkohol dengan kandungan etanol antara 20% hingga 55%, seperti Whiskey, Vodka, dan Brandy (Ginting, 2023).

1. Bir

Bir adalah salah satu jenis minuman beralkohol yang diperoleh dari hasil fermentasi bahan berpati tanpa melewati proses penyulingan, dengan kadar alkohol relatif rendah, sekitar 4–6% (N Parhusip *et al.*, 2020). Bir termasuk salah satu minuman beralkohol tertua dan menempati posisi sebagai minuman paling populer ketiga di dunia setelah air dan teh (Peneliti, Arlene and Kristijarti, 2011). Bahan utama dalam pembuatan bir meliputi air, malt, hop, dan ragi (N Parhusip *et al.*, 2020). Proses pembuatannya berlangsung melalui fermentasi bahan pati seperti barley, jagung, atau beras. Sebagian besar bir memperoleh cita rasa dan aroma khasnya dari hop, yang juga berfungsi sebagai pengawet, meskipun terkadang tambahan tanaman atau buah digunakan untuk memperkaya rasa. Meskipun secara umum bir mengandung alkohol, terdapat jenis bir khas Barat yang kandungan alkoholnya hampir sepenuhnya dihilangkan, dan minuman tersebut dikenal dengan sebutan bir non-alkohol (Peneliti, Arlene dan Kristijarti., 2011).

Bir terdiri dari dua bahan utama beserta beberapa bahan tambahan. Bahan pokok yang digunakan dalam pembuatan bir meliputi air, malt, barley, dan ragi.

Malt yang dipakai sebagai bahan utama terbagi menjadi dua jenis, yaitu A-malt dan C-malt. A-malt memiliki kadar ekstrak yang lebih tinggi dibandingkan C-malt dan harganya juga lebih mahal. Komposisi malt yang digunakan adalah 55% A-malt dan 45% C-malt. Kedua jenis malt ini memiliki karakteristik yang berbeda berdasarkan kadar ekstrak gula, kandungan protein, serta kekuatan proses saccharifikasi-nya (Cahyani., 2020).

Proses pembuatan bir melalui tahap fermentasi, dengan tujuan utama mengubah polisakarida menjadi gula sederhana melalui tahapan maltisasi dan pencampuran. Protein yang digunakan dalam proses ini berasal dari protein barley, yang kemudian dipecah menjadi asam amino dan peptida kecil oleh enzim proteolitik. Tahap maltisasi sendiri meliputi empat langkah utama, yaitu pembuatan bir, perkecambahan, pemanggangan, dan pemanggangan tambahan untuk menghasilkan rasa khas (Cahyani., 2020). Proses ini dimulai dengan menggiling malt kering menggunakan air panas untuk memperluas luas permukaan. Tahap ini berlangsung selama 1–2 jam, di mana enzim amilase mengubah pati pada biji barley menjadi gula yang penting untuk fermentasi. Air yang digunakan untuk mencuci malt, yang dikenal sebagai sparge water, kemudian dicampur dengan hop, buah yang berfungsi memberikan rasa pahit dan sifat pengawet pada bir. Setelah larutan dari rebusan hop dan ekstrak barley (wort) mendingin, tahap fermentasi dimulai, yaitu proses di mana ragi mengubah gula (glukosa, sukrosa, fruktosa) menjadi alkohol (Peneliti, Arlene dan Kristijarti., 2011).

C. Hubungan Konsumsi Bir Dengan Glukosa Darah

Peminum bir cenderung mengalami kebiasaan minum berlebihan. Konsumsi bir secara terus-menerus, yang memiliki kandungan karbohidrat tinggi, dapat membuat tubuh menjadi lebih sensitif terhadap insulin, sehingga dibutuhkan lebih banyak insulin untuk menjaga kadar gula darah tetap normal. Seiring waktu, kondisi ini dapat menyebabkan peningkatan kadar insulin dalam darah secara permanen, yang dikenal sebagai resistensi insulin. Kondisi ini selanjutnya meningkatkan risiko seseorang untuk mengembangkan penyakit diabetes mellitus (DM) (Cahyani., 2020).

Diabetes mellitus (DM) adalah penyakit metabolik jangka panjang di mana tubuh tidak mampu menghasilkan insulin secara optimal, sehingga mengakibatkan peningkatan kadar gula darah yang tidak normal, gangguan respons terhadap insulin, atau kombinasi dari keduanya. Kondisi ini memiliki potensi menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan masyarakat sekaligus menghambat kemajuan ekonomi suatu negara. Oleh karena itu, penanganan diabetes tidak hanya sebatas pemberian obat, tetapi memerlukan strategi manajemen yang sistematis dan komprehensif, disertai perhatian cermat serta upaya yang berkelanjutan (Suryanti dan Sudarman., 2024).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suryanti, Sumardi Sudarman, dan Aswadi (2024), konsumsi alkohol secara berlebihan dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan. Salah satu dampak yang dapat terjadi adalah penurunan kadar gula darah, karena alkohol dapat menghambat proses glukoneogenesis atau pembentukan glukosa baru dalam tubuh, sehingga berpotensi menyebabkan hipoglikemia. Hipoglikemia yang dipicu oleh alkohol umumnya muncul setelah

periode puasa yang panjang atau konsumsi alkohol secara berlebihan, di mana simpanan glikogen di hati menipis dan alkohol menghambat pembentukan glukosa baru. Selain itu, metabolisme alkohol meningkatkan kadar NADH dalam tubuh, yang dapat mengganggu glukoneogenesis. Peningkatan NADH yang tinggi akan menghambat konversi laktat menjadi piruvat, padahal piruvat merupakan komponen penting dalam proses pembentukan glukosa (Suryanti dan Sudarman., 2024).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fitri dan Wirawani (2014), konsumsi minuman beralkohol dengan kandungan karbohidrat tinggi, seperti bir, dapat merangsang produksi insulin dalam tubuh sehingga meningkatkan kadar gula darah. Selain itu, sebuah penelitian prospektif yang melibatkan 12.261 peserta usia paruh baya dalam Atherosclerosis Risk in Communities Study (1990–1998) selama 3–6 tahun menunjukkan bahwa konsumsi alkohol berkaitan dengan peningkatan risiko diabetes tipe 2, terutama pada pria. Dalam penelitian ini, konsumsi alkohol dikategorikan menjadi tiga kelompok, yaitu: individu yang tidak pernah minum sepanjang hidup, mereka yang pernah minum, dan mereka yang masih minum dengan tingkat konsumsi yang berbeda. Setelah menyesuaikan faktor pengganggu, pria yang mengonsumsi lebih dari 21 minuman beralkohol per minggu memiliki risiko lebih tinggi mengalami diabetes tipe 2 dibandingkan pria yang mengonsumsi satu minuman atau kurang per minggu (OR = 1,50; 95% CI: 1,02–2,20). Risiko ini lebih erat kaitannya dengan konsumsi alkohol secara umum dibandingkan dengan jenis minuman tertentu seperti bir atau anggur. Sebaliknya, pada wanita, penelitian tidak menemukan hubungan yang signifikan antara konsumsi alkohol dan risiko diabetes tipe 2. Hasil penelitian ini semakin

menguatkan hipotesis bahwa konsumsi alkohol berlebihan pada pria paruh baya dapat meningkatkan risiko diabetes tipe 2, sementara konsumsi alkohol dalam jumlah sedang tidak menunjukkan peningkatan risiko pada pria maupun wanita (Schulze et al., 2001). Hal ini kemungkinan terkait dengan efek alkohol terhadap sekresi insulin, yang dapat menghambat pemanfaatan glukosa oleh jaringan tubuh sehingga akhirnya meningkatkan kadar glukosa dalam darah (Wirawanni dan I.R, 2014).

Konsumsi minuman beralkohol secara berlebihan dapat meningkatkan risiko diabetes karena kandungan karbohidrat dalam minuman tersebut berpotensi menaikkan kadar gula darah. Hal ini berdampak pada kemampuan sel beta pankreas dalam memproduksi insulin, sehingga produksi insulin tidak cukup untuk mengimbangi resistensi insulin yang meningkat (Milita, Handayani dan Setiaji., 2021).

Pengaruh alkohol terhadap kadar gula darah tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah yang dikonsumsi, tetapi juga oleh jenis makanan yang dikonsumsi bersamanya. Proses pencernaan alkohol dalam tubuh memiliki kesamaan dengan cara tubuh mencerna lemak. Saat alkohol dikonsumsi, hal ini dapat memengaruhi kerja hormon insulin sehingga kadar gula darah berpotensi meningkat (Suryanti dan Sudarman., 2024).

D. Indeks Masa Tubuh (IMT)

Indeks Massa Tubuh (IMT) atau *body mass index* merupakan salah satu metode pengukuran atau skrining yang digunakan untuk menilai komposisi tubuh. Penghitungan IMT dilakukan dengan mengukur berat badan dan tinggi badan,

kemudian menghitungnya menggunakan rumus yang telah ditentukan (Putra dan Rizqi., 2018)

$$IMT = \frac{\text{berat badan (kg)}}{\text{tinggi badan (m)}^2}$$

Indeks Massa Tubuh (IMT) merupakan angka yang diperoleh dengan membandingkan berat badan dan tinggi badan seseorang. Di Indonesia, IMT biasanya dikategorikan menjadi empat kelompok, yaitu tubuh kurus, normal, kelebihan berat badan, dan obesitas (Putra and Rizqi, 2018). Untuk orang dewasa, klasifikasi berat badan berdasarkan IMT dibagi sebagai berikut: jika IMT kurang dari 18,5 dikategorikan sebagai *underweight* (kurus), antara 18,5–22,9 dianggap normal, 23–24,9 masuk dalam kategori risiko kelebihan berat badan, 25–29,9 termasuk obesitas tingkat 1, dan IMT di atas 30 diklasifikasikan sebagai obesitas tingkat 2 (Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, 2023)

E. Metode Pemeriksaan Glukosa Darah

Diabetes mellitus (DM) adalah penyakit kronis yang ditandai oleh tingginya kadar glukosa darah melebihi rentang normal. Pada kondisi normal, konsentrasi glukosa serum atau plasma berkisar antara 70–110 mg/dL. Kadar gula 2 jam setelah makan seharusnya tidak melebihi 140 mg/dL, sedangkan kadar glukosa acak idealnya berada di bawah 110 mg/dL. Bagi individu yang dicurigai menderita diabetes, pemeriksaan laboratorium menjadi langkah penting untuk memastikan diagnosis. Sementara itu, bagi pasien yang sudah terdiagnosis, pemeriksaan ini diperlukan secara rutin untuk memantau kondisi dan manajemen penyakit. Pengukuran kadar glukosa darah dapat dilakukan melalui berbagai metode, baik secara kimia maupun menggunakan pendekatan enzimatik (Wulandari dkk., 2024). Dalam metode kimia, sifat reduksi glukosa yang bersifat

non-spesifik dimanfaatkan melalui penggunaan indikator yang berubah warna ketika terjadi reaksi reduksi. Ciri khas metode ini adalah perubahan warna indikator selama proses reduksi (Saputri., 2023). Namun, metode ini jarang digunakan karena reagen yang dipakai berpotensi berbahaya bagi analis, dapat merusak peralatan, dan membutuhkan waktu analisis yang relatif lama. Sebaliknya, metode enzimatik memanfaatkan sifat katalitik enzim glukosa. Pengukuran kadar glukosa dengan metode ini dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan enzim yang digunakan: glukosa oksidase, heksokinase, dan dehidrogenase (Wulandari dkk., 2024).

1. GOD-PAP

Metode GOD-PAP (Glucose Oxidase-Para Amino Phenazone) merupakan teknik enzimatik yang digunakan untuk mengukur kadar glukosa dalam serum atau plasma. Prinsip kerja metode ini didasarkan pada reaksi oksidasi glukosa yang dikatalisis oleh enzim glukosa oksidase (GOD), di mana glukosa diubah menjadi gluconat dan hidrogen peroksida (H_2O_2). Hidrogen peroksida yang terbentuk kemudian bereaksi dengan fenol dan 4-aminoantipirin, membentuk senyawa berwarna yang disebut kuinonimin. Intensitas warna yang dihasilkan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 546 nm, dan tingkat kecerahan warna tersebut sebanding dengan konsentrasi glukosa dalam sampel, metode ini memungkinkan pengukuran kuantitatif kadar glukosa secara akurat. Secara lebih rinci, prinsip GOD-PAP ini melibatkan kombinasi antara enzim glukosa oksidase atau peroksidase dengan indikator warna kuinonimin sebagai penanda reaksi. Pengukuran intensitas warna dilakukan dengan spektrofotometer, dan nilai yang diperoleh digunakan untuk menentukan kadar

glukosa sampel. Keunggulan metode ini meliputi akurasi tinggi, spesifisitas yang baik, waktu pemeriksaan relatif singkat, serta minimnya gangguan dari faktor eksternal seperti hematokrit, volume sampel, vitamin C, suhu, dan lemak. Oleh karena itu, metode GOD-PAP banyak digunakan di berbagai laboratorium klinik. Di sisi lain, metode ini juga memiliki keterbatasan, yaitu membutuhkan volume darah yang lebih besar, penggunaan reagen khusus, fasilitas khusus untuk spektrofotometer, serta biaya yang cukup tinggi (Wulandari dkk., 2024).

2. Heksokinase

Metode heksokinase memanfaatkan enzim heksokinase sebagai katalis untuk mengubah glukosa menjadi glukosa-6-fosfat dan ADP (adenosin difosfat). Selanjutnya, enzim glukosa-6-fosfat dehidrogenase (G-6-PDH) mengoksidasi glukosa-6-fosfat menjadi glukonat-6-fosfat sekaligus mengubah NADH (nikotinamida adenin dinukleotida) menjadi NADPH (nikotinamida adenin dinukleotida fosfat). Jumlah NADPH yang terbentuk akan sebanding dengan konsentrasi glukosa dalam sampel. Untuk menganalisis hasil tersebut, pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 340 nm dan 383 nm menggunakan perangkat Dimension RXL Max dan Kone Lab 60i (Yusuf, 2023). Metode heksokinase dianggap lebih akurat dibandingkan metode glukosa oksidase (POD-GOD) dalam mengukur kadar glukosa, karena dapat memberikan hasil yang lebih spesifik dengan intervensi minimal. Namun, keterbatasan penggunaannya masih ada karena memerlukan perangkat otomatis khusus (Wulandari dkk., 2024).

3. *Folin dan Wu*

Uji Folin-Wu merupakan metode kimia yang digunakan untuk mengukur kadar gula darah. Pada prosedur ini, glukosa mengalami reduksi ion tembaga dalam larutan tembaga(II) menjadi Cu_2O . Ion tembaga yang telah direduksi kemudian bereaksi dengan fosfomolibdat, membentuk senyawa biru tua. Kekuatan warna biru yang terbentuk sebanding dengan konsentrasi glukosa dalam sampel darah. Metode ini memiliki sensitivitas yang tinggi, namun tingkat spesifisitasnya relatif rendah (Wulandari dkk., 2024).

4. *Furfural*

Metode Furfural merupakan salah satu cara untuk mendeteksi glukosa secara kimiawi. Dalam metode ini, glukosa direaksikan dengan pereaksi furfural seperti antron, anilin, atau o-toluidin di bawah kondisi asam untuk membentuk senyawa berwarna. Intensitas warna yang muncul berkaitan secara langsung dengan kadar glukosa yang terdapat pada sampel. Kelebihan dari metode ini terletak pada tingkat sensitivitasnya yang tinggi, prosedurnya yang relatif sederhana, serta kestabilan pereaksinya yang baik sehingga memungkinkan penggunaan jangka panjang. Namun demikian, metode ini juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain reagen yang digunakan dapat menimbulkan risiko bagi analis, berpotensi merusak peralatan, dan memerlukan pemanasan selama waktu yang cukup lama dalam proses pemeriksaannya (Wulandari dkk., 2024)

5. *POCT*

POCT (*Point of Care Testing*) merupakan metode pengukuran kadar glukosa dalam darah menggunakan enzim glukosa dehidrogenase pada sampel darah kapiler. Teknik ini memanfaatkan prinsip deteksi elektro-kimia, di mana arus

listrik yang terbentuk akan dikonversi oleh alat menjadi sinyal yang merepresentasikan konsentrasi glukosa dalam sampel. Pada alat pengukur gula darah, enzim glukosa dehidrogenase pada strip tes akan mengubah glukosa dalam darah menjadi glukolakton, dan arus yang dihasilkan dari reaksi kimia ini akan terdeteksi oleh perangkat. Untuk melakukan pemeriksaan gula darah menggunakan metode POCT, pengguna terlebih dahulu menyalakan alat, melakukan kalibrasi, dan memasukkan strip tes ke dalam slot yang tersedia. Selanjutnya, sampel darah ditempatkan pada strip, yang kemudian secara otomatis menyerap darah tersebut. Hasil pemeriksaan dapat diperoleh dalam waktu sekitar 10 detik. Metode POCT memiliki kelebihan dan kekurangan. Salah satu keuntungannya adalah tidak memerlukan banyak reagen saat pemeriksaan, sedangkan kelemahannya adalah akurasi bisa terpengaruh oleh variasi hematokrit dan tidak selalu terjamin. Keunggulan tambahan POCT dibandingkan metode GOD-PAP mencakup risiko kesalahan manusia yang lebih rendah, waktu pemrosesan yang lebih cepat, serta penggunaan reagen yang lebih efisien (Wulandari dkk., 2024). Ada beberapa cara untuk memastikan tingkat akurasi dari alat pengukur gula darah ini. Salah satunya adalah dengan melakukan kalibrasi perangkat secara tepat dan mengikuti prosedur operasi standar yang direkomendasikan. Selain itu, hasil pengukuran dari alat ini perlu dibandingkan secara berkala sebagai bagian dari jaminan kualitas (Saputri., 2023).