BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Definisi Diabetes Melitus (DM)

Diabetes adalah kondisi medis yang berlangsung lama dan dapat mempengaruhi individu dari berbagai usia, dengan jumlah penderitanya yang terus meningkat secara global. Menurut WHO (Organisasi Kesehatan Dunia), diabetes melitus adalah suatu kondisi yang berulang yang disebabkan oleh masalah dalam cara tubuh memproses makanan, di mana pankreas tidak memproduksi insulin yang cukup atau tubuh tidak menggunakan insulin dengan efektif (Nugraha *et al.,* 2025).

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001

Diabetes Melitus dianggap sebagai penyakit progresif karena tubuh kehilangan kemampuan untuk mengontrol kadar gula darah, dan sel beta di pankreas yang bertanggung jawab untuk memproduksi insulin tidak berfungsi dengan baik. Akibatnya, kadar gula darah terus meningkat dan meningkatkan kemungkinan timbulnya komplikasi dalam jangka waktu yang lama (Hartini *et al.,* 2024).

2. Klasifikasi Diabetes Melitus

a. Diabetes Melitus Tipe 1

Diabetes ini disebabkan oleh respon sistem kekebalan tubuh yang salah menyerang pankreas, yang umumnya terjadi pada anak – anak. Diabetes Melitus Tipe 1 adalah penyakit autoimun jangka panjang, di mana sel-sel beta di pankreas mengalami kerusakan, sehingga tubuh tidak dapat memproduksi insulin dalam jumlah yang memadai. Mereka yang menderita diabetes tipe 1 wajib menggunakan insulin seumur hidup setelah diagnosis (Fauziani *et al.,* 2024).

POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

b. Diabetes Melitus Tipe 2 (akibat resistensi insulin)

Pada diabetes melitus tipe 2, intinya masalahnya adalah resistensi insulin, yaitu suatu keadaan di mana sel-sel tubuh tidak merespons insulin dengan efektif. Pada awalnya, pankreas masih bisa menghasilkan insulin dalam jumlah yang banyak (hiperinsulinemia) sebagai usaha untuk mengatasi masalah, namun kemampuan insulin tersebut mulai berkurang. Seiring berjalannya waktu, sel-sel β pankreas mulai merasa lelah dan kemampuannya untuk menghasilkan insulin semakin menurun.

Penurunan respons sel terhadap insulin dan penurunan jumlah insulin yang dihasilkan menyebabkan kadar gula darah terus naik. Kadar gula darah yang tinggi dalam waktu lama dapat merusak berbagai organ tubuh akibat mekanisme stres oksidatif, proses inflamasi dan pembentukan produk akhir glikasi lanjut (AGEs). Mekanisme ini dapat mengakibatkan berbagai komplikasi jangka panjang, termasuk nefropati, retinopati, neuropati, dan penyakit kardiovaskular (Rediningsih dan Lestari, 2022).

c. Diabetes Gestasional

Diabetes gestasional adalah kondisi gangguan metabolisme glukosa yang pertama kali muncul selama masa kehamilan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya resistensi tubuh terhadap insulin, dimana pankreas tidak mampu menghasilkan insulin yang cukup untuk memenuhi kebutuhan tubuh. Perubahan ini dipicu oleh kenaikan hormon-hormon seperti hormon plasenta, kortisol, dan progesterone yang terjadi selama kehamilan. Meski biasanya membaik setelah melahirkan, diabetes gestasional tetap memiliki dampak yang besar karena jumlah kasus terus meningkat, terutama akibat obesitas dan pola hidup yang tidak aktif, serta bisa menyebabkan masalah metabolisme dan kelenjar endokrin dalam jangka waktu yang lama. Meski kadar glukosa biasanya kembali ke normal, resistensi insulin dan perubahan metabolisme masih bisa bertahan, sehingga meningkatkan risiko mengalami berbagai penyakit kronis di masa depan (Wulandari *et al.,* 2025).

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001

3. Patofisiologi Diabetes Melitus Tipe 2

Diabetes melitus tipe 2 disebabkan oleh beberapa faktor, terutama karena tubuh tidak mampu merespons insulin dengan tepat dan fungsi sel-sel pankreas tidak berjalan dengan baik. Penurunan jumlah sel beta memiliki peran kunci dalam pengelolaan kadar gula darah dalam jangka waktu yang lama. Pada tahap awal penyakit, kadar gula darah setelah makan seringkali naik karena tubuh tidak bereaksi dengan baik terhadap insulin, walaupun kadar insulin dalam tubuh sudah tergolong tinggi. Gangguan dalam cara insulin bekerja di organ-organ seperti hati dan otot adalah ciri utama pada diabetes tipe 2, menurut Saputri (2020). Hiperglikemia pada diabetes melitus tipe 2 terjadi karena tubuh tidak bisa merespons insulin dengan baik. Resistensi insulin membuat pankreas harus mengeluarkan lebih banyak insulin, namun setelah lama, sel beta akan merasa lelah dan kemampuannya menurun. Akibatnya timbul kurangnya insulin yang memperparah

POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

tingkat gula darah tinggi dan mungkin memerlukan pengobatan dengan insulin (Magliano *et al.,* 2021).

4. Gejala Diabetes Melitus

Beberapa gejala yang umum dialami oleh individu yang mengidap diabetes melitus antara lain frekuensi buang air kecil yang tinggi, rasa haus yang berlebihan, sering merasa lapar, serta penurunan berat badan meskipun asupan makanan tetap sama. Pada tahap kronis, pasien sering merasa mati rasa, kulit terasa hangat seperti tertusuk jarum, mengalami kram, kesemutan, sangat mengantuk, penglihatan memburuk, dan pada pria, bisa terjadi penurunan fungsi seksual (Lestari *et al.,* 2021).

5. Komplikasi Diabetes Melitus Tipe 2

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001

Diabetes melitus tipe 2 dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan dan komplikasi yang serius. Komplikasi yang muncul terbagi menjadi dua kategori:

a. Komplikasi Akut

Komplikasi akut terjadi ketika kadar gula darah naik tiba-tiba atau terlalu tinggi, yang bisa menyebabkan kondisi metabolik berbahaya seperti ketoasidosis diabetes, koma hiperosmolar nonketotik (KHNK), dan kemolaktoasidosis (Prawitasari, 2019).

b. Komplikasi Kronis

Komplikasi jangka panjang dapat berupa masalah pada pembuluh darah besar yang sering dialami oleh pasien diabetes tipe 2, seperti terjadinya pembekuan darah di otak, penyakit jantung koroner, kegagalan jantung akibat mengirim cairan, serta stroke(Prawitasari, 2019).

POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

6. Pemeriksaan Laboratorium Diabetes Melitus

Pemeriksaan laboratorium memainkan peran penting dalam mendiagnosis dan memantau kondisi Diabetes Melitus. Tes glukosa puasa digunakan untuk memeriksa awal adanya diabetes dengan batas nilai ≥ 126 mg/dl, yang menunjukkan seseorang menderita diabetes jika sudah berpuasa selama minimal 8 jam. Tes toleransi glukosa oral dilakukan untuk melihat bagaimana tubuh merespons glukosa.Jika kadar glukosa mencapai lebih dari atau sama dengan 200 mg/dl dua jam setelah minum 75g glukosa, maka orang tersebut didiagnosis menderita diabetes. Glukosa plasma acak juga bisa digunakan untuk

mendiagnosis jika ada gejala klasik hiperglikemia. Selain itu, hemoglobin A1c (HbA1c) menggambarkan pengendalian gula dalam jangka waktu yang lebih lama, dan nilai yang lebih besar atau sama dengan 6,5% menunjukkan bahwa seseorang menderita diabetes. Pemeriksaan tambahan, misalnya fungsi injal dan profil lipid, penting dilakukan untuk mengevaluasi kemungkinan komplikasi serta risiko penyakit kardiovaskular pada pasien diabetes (Anggraini *et al.,* 2020).

Ada beberapa metode pemeriksaan glukosa darah yang dapat dilakukan untuk mengukur kadar glukosa dalam darah sebagai berikut:

a. Metode Enzimatik GOD-PAP (*Glucose Oxidase – Peroxidase Aminoantipyrine*)

Metode glukosa oksidase (GOD-PAP) adalah cara mengukur kadar glukosa dalam darah, khususnya dalam serum atau plasma, dengan memakai reaksi dari enzim glukosa oksidase. Kelemahan dari metode ini adalah mengandalkan reagen, membutuhkan volume darah yang cukup besar, serta memerlukan tempat khusus untuk alat dan merawat reagen. Namun, keunggulannya mencakup kemampuan untuk memilih panjang gelombang cahaya putih secara optimal, menganalisis larutan dengan konsentrasi yang sangat rendah, serta menghasilkan data yang memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi (Rooiqoh *et al.,* 2023).

b. Metode POCT (*Poin Care Of Testing*)

Metode Poin of Care Testing (POCT) adalah pemeriksaan yang mudah dilakukan dengan reagen yang sudah siap digunakan, bisa dilakukan di luar laboratorium dan menghasilkan data cepat, meskipun tingkat presisi dan akurasinya masih kurang baik dibandingkan metode standar. POCT sering dipakai untuk memantau kadar glukosa darah secara mandiri dengan mengambil darah kapiler dalam jumlah yang sedikit. Hasil pemeriksaan bisa dipercaya selama alat sudah dikalibrasi dengan benar dan prosedurnya sesuai dengan standar yang berlaku (Simamora dan Harefa, 2023). Kelebihan metode POCT adalah reagen yang harganya terjangkau, alatnya mudah didapatkan, alatnya digunakan dengan praktis, volume sampel yang dibutuhkan sedikit, dan hasilnya dapat diketahui sendiri tanpa bantuan orang lain. Kekurangan dari metode POCT adalah jenis pemeriksaan yang terbatas, akurasi dan presisi hasil kurang memuaskan, belum ada standar yang jelas, proses kontrol kualitas masih kurang baik, serta biaya untuk melakukan pemeriksaan

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

lebih mahal (Maudiva Hafsyah Maryani, Nurul Hanifah Fadhillah dan Ela Melani Ms, 2022).

B. Definisi Kadar Gula Darah Sewaktu

1. Kadar Gula Darah Sewaktu

Gula darah sewaktu adalah kadar glukosa dalam darah yang diperiksa pada waktu tertentu tanpa memperhatikan kapan terakhir kali seseorang makan. Pemeriksaan ini biasanya digunakan sebagai langkah awal untuk mengidentifikasi kemungkinan seseorang menderita diabetes melitus atau mengalami gangguan toleransi glukosa. Pengukuran dilakukan dengan mengambil sampel darah secara acak, sehingga hasilnya bisa menunjukkan bagaimana tubuh mengatur kadar gula dalam darah sepanjang hari (A. H. Santoso *et al.,* 2023).

PERPUSTAKAAN

2. Nilai Normal Gula Darah Sewaktu

Nilai kadar gula darah saat ini dianggap normal jika tidak melebihi 140 mg/dL. Jika hasil pemeriksaan melebihi batas normal, hal tersebut bisa menjadi tanda bahwa seseorang mungkin mengalami diabetes melitus atau kondisi prediabetes. Dalam pelayanan klinis, nilai gula darah sewaktu juga dipakai untuk mengevaluasi efektivitas pengobatan diabetes serta mengamati pengelolaan glukosa dalam jangka waktu singkat pada pasien diabetes (Holly *et al.,* 2019). Seseorang dikatakan mengalami hiperglikemia ketika kadar gula darahnya lebih dari 200 mg/dL, sedangkan jika kadar gula darahnya kurang dari 70 mg/dL, maka disebut rendah. Mempunyai salah satu kondisi tersebut berarti kadar gula darah tidak dalam batas normal (Febrinasari *et al.,* 2020). Kadar gula darah yang lebih dari 126 mg/dL saat perut kosong sering disebut sebagai hiperglikemia atau diabetes mellitus. Diagnosis diabetes secara klinis umumnya didasarkan pada gejala seperti rasa lapar yang berlebihan, rasa haus dan sering buang air kecil, kehilangan berat badan tanpa sebab yang jelas, serta dalam kondisi yang lebih parah seperti koma dan adanya gula dalam urine (Rahmawati *et al.,* 2023).

POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

3. Faktor Yang Mempengaruhi Kadar Gula Darah Sewaktu

a. Genetik (keturunan)

Sejarah keluarga adalah salah satu hal yang bisa meningkatkan kemungkinan seseorang mengalami diabetes, terutama saat usia sudah tua. Para ahli yakin bahwa kemungkinan terkena penyakit ini dipengaruhi oleh gangguan pada sel beta pankreas

dalam memproduksi insulin, sehingga menyebabkan insulin tidak bisa bekerja dengan baik dalam mengatur kadar gula darah. Faktor lingkungan juga memengaruhi, contohnya jika anggota keluarga tidak menjalani gaya hidup yang sehat. Risiko mengidap diabetes melitus lebih tinggi karena penyebab diabetes melitus melibatkan kombinasi antara faktor genetik yang berasal dari orang tua yang menderita diabetes melalui mutasi gen pada sel beta pankreas serta faktor lingkungan (Harefa dan Lingga, 2023).

b. Aktivitas Fisik

Ketika aktivitas fisik meningkat, otot mulai menggunakan lebih banyak glukosa.Untuk menjaga kadar gula darah tetap stabil, tubuh memproduksi lebih banyak glukosa secara internal. Dalam situasi tertentu, sistem saraf, cara tubuh mengatur glukosa, dan hormon bekerja bersama-sama untuk menjaga keseimbangan dalam tubuh atau homeostasis. Saat berolahraga sangat keras dan tubuh tidak bisa menyediakan cukup glukosa, bisa terjadi hipoglikemia yaitu penurunan kadar gula darah. Jika produksi glukosa dalam tubuh lebih besar daripada kebutuhan tubuh, terutama ketika seseorang tidak aktif secara fisik, maka bisa terjadi hiperglikemia, yaitu kondisi di mana kadar glukosa dalam darah melebihi batas normal (Suhita *et al.,* 2021).

c. Pola Makan

Makanan menjadi sumber energi penting bagi semua makhluk hidup dan setiap jenis makanan memiliki kandungan gizi serta manfaat yang berbeda-beda. Nasi, yang termasuk makanan berisi karbohidrat, akan diubah oleh tubuh menjadi glukosa yang bertindak sebagai sumber energi. Namun, jika kamu mengonsumsi karbohidrat dalam jumlah yang terlalu banyak, hal itu bisa membuat risiko terkena diabetes melitus semakin tinggi, karena glukosa adalah bentuk dasar dari karbohidrat. Glukosa yang dihasilkan kemudian masuk ke dalam darah dan bisa berkumpul sehingga menyebabkan kadar gula darah meningkat. Sebagai tanggapan, tubuh meningkatkan produksi insulin. Produksi insulin yang berlebihan dapat menyebabkan kondisi bernama hyperinsulinemia, yaitu keadaan di mana kadar insulin dalam tubuh terlalu tinggi dan sangat berkaitan dengan terjadinya diabetes melitus (Yunianto *et al.,* 2021).

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

d. Indeks Masa Tubuh

Data yang ada, tidak ditemukan kaitan antara tingkat BMI dengan kadar glukosa dalam darah. Obesitas tidak selalu menyebabkan peningkatan kadar gula darah, karena kadar glukosa juga bisa dipengaruhi oleh hormon dari kelenjar adrenal.Hormon adrenalin dan kortikosteroid yang dilepaskan oleh kelenjar adrenal bisa membuat kadar gula darah turun. BMI tetap bisa digunakan sebagai tolak ukur untuk mengetahui adanya kemungkinan gangguan metabolik pada seseorang. Berbagai hal bisa memengaruhi tingkat gula dalam darah pada orang yang memiliki berat badan berlebih. Orang dewasa disebut obesitas jika indeks massa tubuhnya sama dengan atau lebih dari 25 kg per meter persegi. Obesitas juga bisa menyebabkan sel beta pankreas membesar atau mengalami hiportrofi, sebagai respons dari meningkatnya kebutuhan tubuh untuk memetabolisme glukosa, agar bisa memenuhi permintaan energi yang lebih besar pada orang yang mengalami obesitas (Aryasa *et al.,* 2025).

e. Usia Dan Jenis Kelamin.

Usia memengaruhi peningkatan kadar gula darah, seperti terlihat dari meningkatnya kasus diabetes seiring bertambahnya usia seseorang. Proses penuaan membuat tubuh semakin tidak peka terhadap insulin, sehingga mengganggu kemampuan mengatur glukosa dan meningkatkan kemungkinan terkena diabetes melitus tipe 2. Setelah berusia 40 tahun, fungsi tubuh mulai menurun lebih cepat, termasuk fungsi pankreas (Komarilah, 2020). Jenis kelamin juga adalah salah satu faktor yang bisa meningkatkan risiko seseorang terkena diabetes melitus. Pria cenderung lebih rentan terhadap diabetes dibandingkan wanita. Perbedaan ini salah satunya disebabkan oleh cara lemak didistribusikan dalam tubuh. Pada pria, lemak tubuh cenderung disimpan di bagian perut, sehingga bisa menyebabkan bentuk tubuh gemuk di area tengah tubuh. Jenis obesitas ini terkait dengan risiko yang lebih tinggi mengalami gangguan metabolik (Malik *et al.,* 2024).

f. Stress

Stres adalah respons fisik dan mental tubuh terhadap berbagai tekanan psikologis, seperti masalah pikiran dan permasalahan dalam kehidupan. Kondisi

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

stres menyebabkan tubuh menghasilkan lebih banyak kortisol, yaitu hormon yang bekerja melawan efek insulin, sehingga membuat kadar gula darah meningkat. Ketika seseorang merasa stres yang sangat berat, kadar hormon kortisol dalam tubuh akan meningkat tajam.Hal ini bisa membuat tubuh lebih sulit merespons insulin.Akibatnya, fungsi insulin terganggu, sehingga glukosa tidak bisa masuk ke dalam sel dengan baik, dan kadar glukosa dalam darah pun menjadi lebih tinggi (Ludiana *et al.,* 2022).

g. Merokok

Merokok adalah kebiasaan yang sering ditemukan dalam kehidupan sehari-hari dan dilakukan oleh berbagai kelompok usia serta jenis kelamin. Penyakit ini merupakan salah satu faktor risiko utama terhadap kematian di dunia dan diketahui dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya penyakit jantung koroner. Penelitian yang dilakukan oleh Dwi Ario menunjukkan bahwa merokok dalam waktu yang lama bisa menyebabkan tubuh menjadi lebih resisten terhadap insulin. Efek ini terkait dengan kadar nikotin pada rokok, yang merupakan zat aktif yang mungkin berperan dalam penyebab diabetes melitus (Pitoy *et al.,* 2024).

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001

C. Pengertian Leukosit

1. Leukosit

Leukosit adalah sel-sel yang ada di dalam tubuh yang membantu sistem pertahanan tubuh, mereka bisa mengenali dan merespons benda asing yang masuk ke dalam tubuh, seperti bakteri atau virus, yang bisa menyebabkan infeksi dan peradangan. Secara umum, sel-sel ini bisa hidup selama 13 hingga 20 hari dan jumlahnya bisa mencapai antara 4.000 hingga 11.000 sel per mm kubik. Ini menunjukkan kemampuan sel darah putih dalam melawan penyebab penyakit dan peradangan (Rosita *et al.,* 2019).

POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

Leukosit adalah bagian penting dalam sistem pertahanan tubuh yang membantu melindungi tubuh dari penyakit dan infeksi. Ada beberapa jenis sel darah putih, seperti limfosit, monosit, dan neutrofil, masing-masing memiliki peran tertentu dalam tubuh. Limfosit terbagi menjadi dua jenis, yaitu sel T dan sel B.Sel T berperan dalam mengatur sistem kekebalan tubuh dan menghancurkan sel yang terinfeksi, sedangkan sel B berfungsi membuat antibodi untuk melawan penyakit penyebab infeksi. Monosit adalah

sel besar yang mampu berkembang menjadi makrofag setelah masuk ke dalam jaringan, dan tugasnya adalah membersihkan sel serta antigen kepada limfosit. Neutrofil berperan penting dalam melawan infeksi bakteri dengan cara menangkap dan menghancurkan mikroorganisme asing melalui proses yang disebut fagositosis. Secara umum, leukosit memainkan peran penting dalam menjaga kesehatan tubuh dengan mendeteksi dan merespons ancaman infeksi (Giyartika dan Keman, 2020).

2. Jenis-Jenis Leukosit

Leukosit terdiri dari 2 kategori yaitu granulosit dan agranulosit.

a. Granulosit

Granulosit adalah sel darah putih yang ditandai dengan adanya granula di dalam sitoplasmanya. Granula ini memiliki kemampuan yang bervariasi dalam mengikat jenis pewarna yang berbeda. Sebagai contoh, eosinofil mengandung granula berwarna merah terang, basofil memiliki granula berwarna biru, dan neutrofil memiliki granula berwarna ungu muda(Fathun *et al.,* 2025).

b. Agranulosit,

Agranulosit adalah jenis sel darah putih yang memiliki inti sel (nukleus) berlobus tunggal dan tidak memiliki granula di dalam sitoplasmanya. Leukosit yang diklasifikasikan sebagai agranulosit meliputi limfosit dan monosit. Limfosit dibagi lebih lanjut menjadi dua jenis: limfosit B, yang berperan dalam imunitas humoral, dan limfosit T, yang berperan dalam imunitas seluler. Limfosit B menghasilkan antibodi sebagai respons terhadap antigen, sedangkan limfosit T berinteraksi langsung dengan entitas asing untuk melakukan fagositosis (Sulistiawati *et al.,* 2022).

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

Keberadaan atau ketiadaan granula pada leukosit, beserta sifat pewarnaan dan reaksinya, merupakan karakteristik khas dari setiap jenis leukosit. Selain bentuk dan ukuran, granula juga sangat penting dalam menentukan jenis leukosit (Ardina dan Rosalinda, 2018). Dalam kondisi normal, leukosit di dalam tubuh dapat dikategorikan berdasarkan ukurannya, meliputi basofil, eosinofil, neutrofil batang (*band neutrophils*), neutrofil segmen (*segmented neutrophils*), limfosit, dan monosit. Keenam jenis sel ini berbeda dalam hal ukuran, bentuk inti, warna sitoplasma, serta keberadaan granula (Rosita *et al.,* 2019).

1) Neutrofil

Neutrofil berukuran sekitar 1,4 mikrometer, dengan granula yang halus dan tipis. Sifat netral dari granula ini menghasilkan campuran warna asam (eosin) dan basa (metilen biru). Selain itu, granula tersebut menampilkan warna ungu muda atau merah muda pudar. Neutrofil berfungsi sebagai garis pertahanan pertama tubuh terhadap infeksi, terutama yang disebabkan oleh bakteri. Sel ini memiliki sifat fagositik dan dapat menginfiltrasi jaringan yang terinfeksi. Neutrofil beredar di dalam aliran darah(Mutia *et al.,* 2025).

Neutrofil merupakan jenis sel darah putih yang paling melimpah, mencakup sekitar 50 hingga 70 persen dari total jumlah sel darah putih. Terdapat dua jenis neutrofil: neutrofil batang (*band neutrophils*) dan neutrofil segmen (*segmented neutrophils*). Perbedaan antara keduanya terletak pada kenyataan bahwa neutrofil batang merupakan bentuk neutrofil segmen yang lebih muda, yang sering disebut sebagai neutrofil tapal kuda karena bentuk intinya yang menyerupai sepatu kuda. Seiring berjalannya proses pematangan, intinya terbagi menjadi segmen-segmen, bertransformasi menjadi neutrofil segmen. Neutrofil memiliki sitoplasma yang luas berwarna merah muda pudar, dengan granula halus yang tampak berwarna ungu.(Fardiah tilawaty sitanggang dan vega roosa fione, 2024).

Neutrofil segmen menampilkan granula sitoplasma yang tipis dan pucat, serta dikenal juga sebagai neutrofil polimorfonuklear karena inti selnya terdiri dari 2 hingga 5 segmen (lobus) dengan berbagai bentuk yang dihubungkan oleh benang-benang kromatin. Jumlah lobus neutrofil segmen berkisar antara 3 hingga 6, dan jika jumlahnya melebihi 6, maka disebut sebagai neutrofil hipersegmen. Peningkatan jumlah neutrofil disebut sebagai neutrofilia. Neutrofilia dapat terjadi sebagai respons alami tubuh terhadap stres, seperti saat berolahraga, suhu ekstrem, pendarahan atau hemolisis mendadak, persalinan, atau stres emosional yang berat. Kondisi yang dapat menyebabkan peningkatan jumlah neutrofil meliputi infeksi mendadak, peradangan atau kejadian akut, kerusakan jaringan, gangguan metabolik, apendisitis, dan leukemia mielositik. Penurunan jumlah neutrofil dikenal sebagai neutropenia, yang dapat terjadi pada

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

penyakit akibat virus, hipersplenisme, leukemia, granulositosis, anemia, atau sebagai efek samping dari obat-obatan (Ahmad *et al.,* 2021).

2) Eosinofil

Eosinofil dalam tubuh manusia biasanya menyusun sekitar 1 hingga 6 persen dari total sel darah, dan ukurannya sekitar 16 mikrometer. Berperan dalam proses fagositosis dan memproduksi antibodi terhadap antigen yang dilepaskan oleh parasit. Maka hidup eosinofil lebih lama dibandingkan neutrofil, yaitu sekitar 8 hingga 12 jam. Eosinofil hampir mirip dengan neutrofil, tetapi pada eosinofil, granula di dalam sel lebih besar dan berwarna merah orange. Warna merah muncul karena adanya senyawa protein bermuatan positif (bersifat basa) yang menempel pada zat warna asam seperti eosin, yang digunakan dalam pewarnaan Giemsa. Granulanya memiliki ukuran yang sama dan teratur seperti gelembung, dan jarang ditemukan lebih dari tiga lobus inti. Eosinofil lebih lama dalam darah dibandingkan neutrofil. Eosinofil akan bertambah banyak ketika seseorang mengalami penyakit alergi, infeksi parasit, masalah kulit, kanker, flebitis, tromboflebitis, leukemia mielositik kronik (CML), emfisema, atau penyakit ginjal. Pada orang yang stres, pemberian steroid secara oral atau injeksi, luka bakar, syok, serta hiperfungsi adrenokortikal akan menyebabkan jumlah eosinofil menurun (Jalal, 2020).

3) Basofil

Basofil merupakan jenis leukosit yang paling sedikit jumlahnya, mencakup kurang dari 2% dari total jumlah leukosit. Sel-sel ini berukuran sekitar 14 mikrometer, dengan granula yang bervariasi ukurannya dan memiliki susunan tidak teratur yang sering kali menutupi inti sel (nukleus). Sel ini bersifat azurofilik, sehingga menghasilkan pewarnaan gelap saat diwarnai dengan Giemsa. Basofil memiliki granula kasar berwarna ungu atau biru tua yang sering kali menutupi inti sel yang terfragmentasi/berlobus. Warna kebiruan ini disebabkan oleh melimpahnya granula yang mengandung histamin, suatu amina biogenik yang merupakan metabolit dari asam amino histidin. Basofil jarang ditemukan dalam darah normal. Selama proses peradangan (inflamasi), sel ini melepaskan senyawa kimia seperti heparin, histamin, bradikinin, dan serotonin. Basofil

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

berperan dalam reaksi hipersensitivitas yang berkaitan dengan imunoglobulin E (IgE) (Victoria dan slamet, 2019).

4) Monosit

Monosit adalah jenis leukosit terbesar, berukuran sekitar 18 mikrometer. Sel-sel ini memiliki inti padat yang berbentuk seperti kacang ginjal atau kacang polong. Monosit tidak mengandung granula di dalam sitoplasmanya. Masa hidupnya di dalam aliran darah berkisar antara 20 hingga 40 jam. Inti selnya biasanya menampilkan bentuk yang tidak biasa, sering kali melengkung dalam menyerupai tapal kuda. Granula azurofilik merupakan lisosom primer, yang jumlahnya lebih banyak namun ukurannya lebih kecil. Keberadaan retikulum endoplasma kasar sangat minimal, disertai sedikit ribosom dan poliribosom, sedangkan mitokondrianya berjumlah banyak. Aparatus Golgi berkembang dengan baik, serta mikrofilamen dan mikrotubulus dapat ditemukan di area lekukan inti. Monosit terdapat di dalam darah, jaringan ikat, dan rongga tubuh. Sel ini termasuk dalam kelompok fagosit mononuklear (sistem retikuloendotelial) dan memiliki situs reseptor pada permukaan membran selnya. Monosit mencakup sekitar 3 hingga 8 persen dari total jumlah sel darah putih. Sel ini menjalankan dua fungsi utama: menelan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri, serta membantu dalam respons imun (Nisa *et al.,* 2024).

5) Limfosit

Limfosit adalah jenis sel darah putih yang menempati urutan kedua terbanyak setelah neutrofil, mencakup sekitar 20 hingga 40 persen dari total jumlah sel darah putih. Pada anak-anak, jumlah limfosit lebih tinggi dibandingkan pada orang dewasa, dan jumlah ini meningkat ketika seorang anak mengalami infeksi virus. Berdasarkan peran atau fungsinya, limfosit dikategorikan menjadi dua jenis: limfosit B dan limfosit T. Limfosit B matang dibentuk di sumsum tulang, sedangkan limfosit T matang berkembang di timus. Kedua jenis limfosit ini tidak dapat dibedakan ketika diwarnai dengan Giemsa karena bentuk dan ukurannya identik, yaitu berbentuk bulat dengan diameter sekitar 12 mikrometer.

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

Sitoplasmanya sangat sedikit karena hampir seluruh bagian dalam sel diisi oleh inti (nukleus) yang padat dan tidak bergranula. Limfosit B berasal dari sel punca (*stem cells*) yang terletak di sumsum tulang, yang kemudian matang menjadi sel plasma yang menghasilkan antibodi. Limfosit T terbentuk ketika sel punca dari sumsum tulang bermigrasi ke kelenjar timus, di mana sel-sel tersebut mengalami pembelahan dan pematangan. Di dalam kelenjar timus, sel T belajar untuk membedakan antara zat asing dan zat yang bukan asing. Limfosit T yang telah matang keluar dari kelenjar timus, memasuki pembuluh limfa, dan berperan dalam sistem kekebalan tubuh sebagai regulator (Prakoeswa, 2020).

Berdasarkan ukurannya, limfosit diklasifikasikan menjadi beberapa jenis:

a) Limfosit rehat (*resting lymphocytes*): biasanya berukuran kecil (7–10 mikrometer), dengan inti berbentuk bulat atau oval.
b) Limfosit reaktif (*reactive lymphocytes/atypical*): merupakan jenis limfosit yang ukurannya paling besar selama terjadi infeksi, seperti pada kasus mononukleosis.
c) Limfosit bergranula besar (*large granular lymphocytes*): berukuran sedang, memiliki granula azurofilik kasar, dan berfungsi sebagai sel pembunuh alami (*natural killer/NK cells*) dalam sistem kekebalan tubuh (Kiswari, 2015).

Ukuran limfosit bervariasi beberapa di antaranya memiliki ukuran yang mirip dengan eritrosit, sementara yang lain sebanding dengan neutrofil. Limfosit yang berukuran sekitar 6 hingga 8 mikrometer diklasifikasikan sebagai limfosit kecil. Sitoplasma limfosit menunjukkan sifat basa lemah dan tampak berwarna biru muda saat disiapkan sebagai spesimen yang dihaluskan. Sitoplasma ini mengandung granula azurofilik. Inti sel (nukleus) biasanya berbentuk bulat atau sesekali menyerupai bentuk kacang ginjal. Kromatin di dalam intinya sangat padat dan berwarna biru tua. Sel-sel ini jumlahnya relatif sedikit dan tampak berwarna biru langit, serta tidak memiliki granula spesifik, meskipun beberapa sel dapat mengandung granula azurofilik. Jika pewarnaan dilakukan dengan benar, granula ini akan tampak berwarna ungu kemerahan(Maharani dan Noviar, 2018).

1. Fungsi Leukosit

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

Fungsi utama sel darah putih adalah untuk melindungi tubuh dari infeksi dengan cara menelan bakteri dan virus, serta memproduksi dan menyalurkan antibodi ke lokasi yang dibutuhkan. Sel darah putih secara luas dikategorikan menjadi dua jenis utama: granulosit, yang meliputi neutrofil, eosinofil, dan basofil; serta agranulosit, yang terdiri dari limfosit dan monosit. Neutrofil berfungsi sebagai pertahanan awal sistem kekebalan tubuh dengan cara memakan dan menghancurkan bakteri menggunakan enzim oksidase yang terdapat di dalam granulanya. Eosinofil juga membantu menangkap bakteri atau zat asing yang masuk ke dalam tubuh dengan cara bergerak menyerupai amuba. Sebaliknya, limfosit tidak bergerak seperti amuba dan tidak mampu melakukan fagositosis; namun, sel ini memainkan peran penting dalam produksi antibodi yang meningkatkan daya tahan tubuh terhadap infeksi (Azizah *et al.,* 2023).

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001

D. Hubungan Glukosa Dengan Leukosit

Penelitian yang dilakukan oleh Anik Andayani dan timnya pada tahun 2023 menunjukkan adanya korelasi positif yang signifikan antara kadar glukosa darah dan jumlah sel darah putih pada pasien diabetes melitus tipe 2. Fenomena ini terjadi akibat hiperglikemia, yang memicu pelepasan senyawa pro-inflamasi seperti IL-6 dan IL-8, sehingga mendorong tubuh untuk memproduksi lebih banyak sel darah putih sebagai respons terhadap peradangan. Sebaliknya, penelitian oleh Siti Chodijah dan timnya pada tahun 2013 mengungkapkan adanya hubungan negatif yang signifikan antara kadar glukosa darah puasa dan jumlah leukosit pada pasien diabetes melitus yang mengalami sepsis ($r = -0,429$; $p = 0,013$). Dalam penelitian tersebut, jumlah leukosit justru menurun, yang kemungkinan disebabkan oleh efek terapi anti-inflamasi dan pemberian antibiotik selama pengobatan. Oleh karena itu, hubungan antara kadar glukosa darah dan jumlah leukosit dapat bervariasi tergantung pada kondisi kesehatan pasien. Pada pasien diabetes tipe 2 yang tidak memiliki infeksi berat, jumlah leukosit biasanya meningkat, sedangkan pada pasien diabetes yang mengalami sepsis, jumlah leukosit dapat menurun akibat pengaruh pengobatan medis.

POLITEKNIK ASYIYAH PONTIANAK

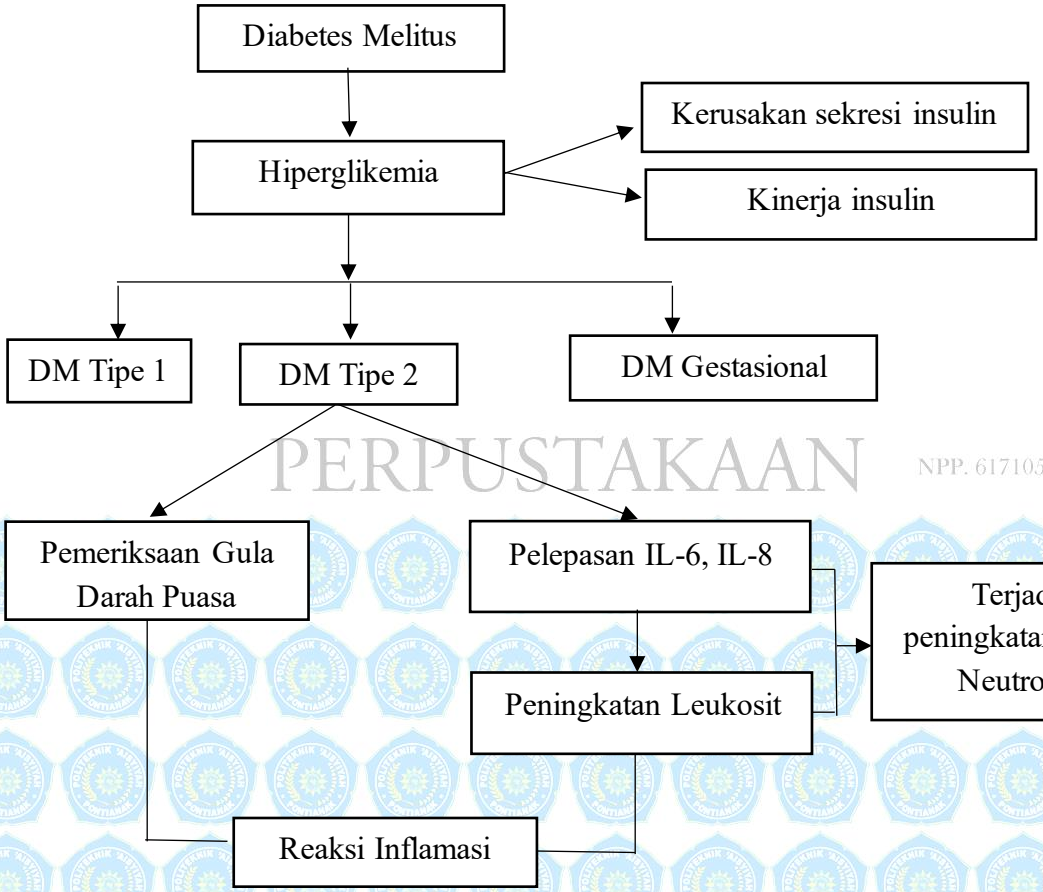
Diabetes melitus yang menyebabkan kadar gula darah tinggi secara berkepanjangan dapat mengubah jumlah dan cara kerja sel darah putih melalui dua cara utama, yaitu peradangan yang terus-menerus dan respons tubuh terhadap infeksi. Kadar glukosa yang terlalu tinggi secara berkelanjutan menyebabkan stres metabolisme dan oksidatif, yang

berdampak pada sistem imun bawaan.Akibatnya, sel lemak dan sel endotel melepaskan zat pro-inflamasi seperti IL-6 dan TNF-α. Sitokin ini mendorong sumsum tulang untuk meningkatkan pembuatan dan melepaskan leukosit ke dalam darah, sehingga menyebabkan peningkatan jumlah leukosit secara dasar, yang menunjukkan adanya peradangan sistemik pada penderita diabetes melitus.

Hiperglikemia juga mengganggu pekerjaan sel darah putih, terutama membuat kemampuan fagositosis menurun, menghambat kemotaksis, dan mengurangi kemampuan mengeluarkan patogen, sehingga penderita diabetes mellitus lebih mudah terkena infeksi seperti ulkus kaki diabetes dan infeksi saluran kemih. Ketika terjadi infeksi, tubuh akan mengeluarkan lebih banyak leukosit, terutama neutrofil, sebagai respons, namun kualitas fungsi sel imun tersebut justru menurun karena adanya kadar glukosa yang tinggi. Oleh karena itu, dalam DM terjadi paradoks imunologis di mana jumlah sel darah putih meningkat, namun kemampuan tubuh untuk melawan penyakit justru menjadi lebih lemah(Li *et al.,* 2023).

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK

E. Kerangka Teori



Gambar 2.2 kerangka teori

PERPUSTAKAAN NPP. 6171052A2000001
POLITEKNIK 'AISYIYAH PONTIANAK