

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Diabetes Melitus

2.1.1 Pengertian Diabetes Melitus

Diabetes melitus adalah penyakit metabolisme yang berlangsung lama dan terjadi karena kadar gula dalam darah meningkat, serta tingkat HbA1c naik, karena tubuh tidak mampu mengeluarkan insulin dan tidak bekerja dengan baik (Perkeni, 2024). Diabetes melitus ialah kelompok penyakit metabolik yang bersifat heterogen dan ditandai dengan hiperglikemia kronis akibat gangguan metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein. Kondisi tersebut terjadi karena fungsi insulin yang tidak memadai, baik akibat gangguan sekresi insulin, penurunan sensitivitas jaringan terhadap insulin (resistensi insulin), maupun kombinasi dari keduanya (Schleicher *et al.*, 2022; Mardalena, 2021).

Diabetes melitus mengacu pada sekelompok penyakit heterogen, secara umum memiliki ciri khas berupa meningkatnya kadar gula darah melebihi ambang batas nilai normal (Harreiter dan Roden, 2023). Seseorang dikatakan menderita Diabetes Melitus apabila mengalami gangguan metabolik yang ditandai dengan kadar glukosa darah sewaktu melebihi 200 mg/dl dan kadar glukosa darah puasa melebihi 126 mg/dl (Ginanjar Abdurrahman, 2022). Diabetes melitus adalah penyakit kronis yang bersifat menetap dan hingga saat ini belum dapat disembuhkan, namun dapat dikendalikan melalui pengaturan pola makan, peningkatan aktivitas fisik, penggunaan obat sesuai anjuran, monitoring kadar glukosa darah, serta perawatan kaki secara rutin (Silalahi *et al.*, 2024).

Gejala yang sering dirasakan oleh penderita diabetes melitus meliputi: kerap buang air kecil (poliuria), dorongan untuk minum lebih banyak (polidipsi), dan nafsu makan meningkat (polifagia). Selain itu, ada juga keluhan seperti penglihatan menjadi kabur, kemampuan mengkoordinasikan gerakan anggota tubuh terganggu, terasa kesemutan di tangan atau kaki, gatal-gatal yang terasa sangat mengganggu, serta berat badan turun tanpa sebab yang jelas (Marselin *et al.*, 2021).

2.1.2 Klasifikasi Diabetes Melitus

Ada beberapa jenis dan klasifikasi diabetes melitus menurut Perkeni (2024) adalah sebagai berikut:

a. **Diabetes Melitus Tipe 1**

Diabetes melitus tipe 1 merupakan kondisi yang disebabkan oleh destruksi sel β pankreas sehingga produksi insulin mengalami defisiensi absolut. Proses destruksi tersebut umumnya dipengaruhi oleh mekanisme autoimun, meskipun pada sebagian kasus penyebabnya bersifat idiopatik atau belum dapat dijelaskan secara pasti.

b. **Diabetes Melitus Tipe 2**

DM tipe 2 terjadi karena resistensi insulin. Hal ini ditandai dengan adanya gangguan pada kerja dan produksi insulin, di mana pankreas tidak mampu memproduksi insulin dalam jumlah yang cukup untuk mengatur kadar glukosa darah secara normal.

c. **Diabetes Melitus Gestasional**

Diabetes gestasional biasanya muncul pada ibu hamil ketika memasuki usia TM II dan III, dimana sebelum kehamilan tidak terdapat diabetes.

d. Diabetes Melitus Tipe Lain

Diabetes melitus tipe lain dikaitkan dengan etiologi lain seperti diabetes neonatal, *maturity onset diabetes of young* (MODY).

2.1.3 Etiologi Diabetes Melitus

Penyebab penyakit diabetes melitus merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor genetik dan faktor lingkungan. Selain itu, gangguan pada proses sekresi maupun kerja insulin juga berperan dalam timbulnya penyakit ini. Abnormalitas metabolik yang memengaruhi fungsi sekresi insulin, disfungsi pada mitokondria, serta berbagai kondisi lain yang menghambat toleransi glukosa turut berkontribusi terhadap terjadinya diabetes. Penyakit ini juga dapat berkembang akibat kerusakan jaringan pankreas eksokrin yang berdampak pada fungsi sel islet pankreas. Selain itu, peningkatan aktivitas hormon yang bersifat antagonis terhadap insulin dapat menjadi faktor penyebab tambahan dalam perkembangan diabetes melitus (Lestari *et al*, 2021).

Ada beberapa aspek resiko diabetes melitus menurut (Perkeni, 2024) yaitu sebagai berikut:

- a. Faktor risiko yang tidak bisa dimodifikasi
 - 1. Ras dan etnik
 - 2. Riwayat keluarga dengan DM Tipe 2

3. Umur: risiko untuk menderita intoleransi glukosa meningkat seiring dengan meningkatnya usia. Usia >40 tahun harus dilakukan skrining diabetes melitus tipe 2.
4. Riwayat melahirkan bayi dengan BB lahir > 4000 gram atau riwayat pernah menderita diabetes melitus gestasional (DMG). Riwayat lahir dengan berat badan rendah, kurang dari 2,5 kg. Bayi yang lahir dengan BB rendah mempunyai risiko yang lebih tinggi dibanding dengan bayi yang lahir dengan BB normal.

b. Faktor resiko yang bisa dimodifikasi

1. Berat badan lebih ($IMT \geq 23 \text{ kg/m}^2$)
2. Kurangnya aktivitas fisik
3. Hipertensi ($> 140/90 \text{ mmHg}$)
4. Dislipidemia ($HDL < 35 \text{ mg/dL}$ dan/atau trigliserida $> 250 \text{ mg/dL}$)
5. Diet tak sehat (*unhealthy diet*). Diet dengan tinggi glukosa dan rendah serat akan meningkatkan risiko menderita prediabetes/intoleransi glukosa dan diabetes melitus tipe 2.

c. Faktor lain yang terkait dengan risiko diabetes melitus tipe 2

1. Individu yang mengalami sindrom metabolic diertai riwayat toleransi glukosa terganggu (TGT) atau glukosa darah puasa terganggu (GDPT).
2. Pasien yang memiliki riwayat penyakit kardiovaskular, termasuk stroke, penyakit jantung koroner, atau penyakit arteri perifer.

Berdasarkan pendapat Tandra (2020) yang dikutip dari Hartono dan Ediyono (2024), terdapat beberapa kondisi yang dapat memicu terjadinya penyakit diabetes melitus, yakni sebagai berikut:

a. Usia

Pada usia lanjut, risiko terjadinya diabetes melitus meningkat apabila asupan makanan tinggi kalori atau kaya karbohidrat dikonsumsi secara berlebihan. Kondisi tersebut terjadi akibat penurunan kapasitas fungsi pankreas serta menurunnya sensitivitas dan efektivitas kerja insulin dalam mengatur kadar glukosa darah.

b. Ras atau etnis

Prevalensi diabetes melitus cenderung lebih tinggi pada individu dengan ras kulit hitam dibandingkan dengan individu berkulit putih. Selain itu, populasi Asia juga menunjukkan kerentanan yang lebih besar terhadap terjadinya penyakit diabetes melitus.

c. Gaya hidup

Kebiasaan gaya hidup yang tidak sehat, misalnya melewatkan sarapan, mengonsumsi makanan pada malam hari hingga larut malam, serta mengalami kesulitan untuk tidur setelah mengonsumsi makanan berat, merokok, kurang olahraga, serta peningkatan berat badan, dapat berkontribusi terhadap terjadinya resistensi insulin yang berujung pada diabetes melitus. Risiko terjadinya diabetes ditemukan pada lebih dari 80% individu yang mengalami obesitas. Selain itu, kondisi obesitas

juga meningkatkan kemungkinan terjadinya penyakit kardiovaskular, seperti penyakit jantung dan stroke, hingga 2 hingga 4 kali lipat. Penumpukan lemak, terutama di area abdominal, menyebabkan penurunan sensitivitas insulin, sehingga kadar glukosa darah lebih mudah meningkat.

d. Terapi obat

Penggunaan obat-obatan tertentu dapat memengaruhi metabolisme glukosa dalam tubuh. Penderita asma atau rematik yang secara rutin mengonsumsi obat golongan steroid berisiko mengalami peningkatan kadar glukosa darah akibat efek *counter-insulin* yang dimilikinya. Demikian pula, beberapa jenis obat lain seperti penyekat β (*beta-blocker*), diuretik, obat antituberkulosis seperti *isoniazid* (INH), obat asma seperti salbutamol dan terbutalin, obat antiretroviral untuk HIV seperti pentamidin dan *protease inhibitor*, serta obat penurunan kolesterol seperti niasin, juga dapat meningkatkan kadar glukosa darah melalui mekanisme yang serupa.

e. Infeksi pada pankreas

Diabetes melitus dapat dipicu oleh adanya gangguan pada pankreas, seperti pankreatitis, maupun oleh penyakit yang memengaruhi fungsi kelenjar hipofisis, misalnya akromegali.

f. Kehamilan

Diabetes melitus terjadi sekitar 2–5% wanita selama masa kehamilan, kondisi ini dikenal sebagai diabetes melitus gestasional.

g. Keturunan

Riwayat diabetes melitus dalam keluarga merupakan salah satu faktor predisposisi terjadinya penyakit ini, di mana individu dengan anggota keluarga yang menderita diabetes memiliki risiko lebih tinggi untuk mengalami kondisi serupa.

h. Stres

Stress memicu peningkatan sekresi hormon kontraindulator insulin, seperti kortisol, glukagon, katekolamin, dan hormon pertumbuhan, yang menghambat kerja insulin sehingga menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah.

2.1.4 Patofisiologi Diabetes Melitus

Perkembangan diabetes melitus tipe 2 secara genetik, terutama dipengaruhi oleh dua mekanisme utama, yaitu resistensi insulin dan disfungsi sel beta pankreas. Resistensi insulin umumnya ditemukan pada penderita dengan obesitas, di mana hormon insulin tidak mampu bekerja secara efektif pada jaringan otot, lemak, maupun hati. Kondisi ini memicu pankreas meningkatkan produksi insulin sebagai kompensasi. Namun ketika sel beta tidak lagi mampu memproduksi insulin dalam jumlah yang lumayan banyak untuk mengatasi resistensi tersebut, kadar glukosa darah mulai meningkat dan pada akhirnya menyebabkan hiperglikemia kronis. Keadaan hiperglikemia yang berkelanjutan kemudian memperparah kerusakan sel beta sekaligus mempertinggi resistensi insulin, sehingga progresivitas diabetes melitus tipe 2 semakin meningkat (Decroli, 2019).

Resistensi insulin tercermin dari kebutuhan kadar insulin yang cenderung lebih meningkat daripada normal untuk mempertahankan kadar glukosa dalam darah tetap stabil. Pada tingkat sel, kondisi ini menunjukkan adanya gangguan pada proses pensinyalan insulin, baik sebelum reseptor, pada reseptor, maupun setelah reseptor. Dari aspek molekuler, beberapa faktor yang berperan dalam terjadinya resistensi insulin meliputi perubahan aktivitas protein kinase B, mutasi pada Insulin Receptor Substrate (IRS), peningkatan fosforilasi serin pada IRS, disfungsi Phosphatidylinositol 3-Kinase (PI3K), keterlibatan protein kinase C, serta mekanisme yang menghambat transkripsi gen reseptor insulin (Decroli, 2019).

2.15 Pencegahan Diabetes Melitus

Pencegahan diabetes melitus menurut Lu (2024) bisa melalui intervensi gaya hidup intensif, meliputi penerapan terapi diet dan peningkatan aktivitas fisik yang bertujuan menurunkan berat badan. Setiap penurunan berat badan sebesar satu kilogram dapat menurunkan risiko terjadinya diabetes melitus tipe 2 hingga 16%. Penggunaan obat-obatan tertentu juga berperan dalam mengatasi diabetes melitus tipe 2. Belum terdapat obat yang disetujui secara khusus oleh *Food and Drug Administration* (FDA) untuk indikasi pencegahannya, namun beberapa agen hipoglikemik seperti metformin, inhibitor α -glukosidase (AGIs), tiazolidindion (TZDs), serta inhibitor *sodium-glucose cotransporter* (SGLT) menunjukkan potensi dalam menurunkan risiko perkembangan penyakit tersebut.

Hasil analisis Ravindrarajah (2023) menunjukkan bahwa pemanfaatan catatan kesehatan elektronik dalam program pencegahan diabetes efektif dalam

mendukung pelaksanaan intervensi berskala luas, baik pada tingkat nasional maupun regional. Salah satu contohnya adalah *Finnish National Diabetes Prevention Program* (FIN-D2D), yang melibatkan kegiatan edukasi mengenai gizi dan aktivitas fisik selama periode 9 hingga 12 bulan.

Terdapat tiga jenis pencegahan menurut penjelasan Perkeni (2021):

a. Pencegahan primer

Upaya pencegahan ini pada kelompok dengan faktor resiko yaitu individu belum terpapar, namun memiliki potensi untuk menderita diabetes melitus tipe 2. Upaya yang dapat dilakukan yaitu terutama pada perubahan gaya hidup berupa pengaturan diet, meningkatkan kegiatan olahraga fisik, menghentikan kebiasaan merokok dan pada kelompok dengan resiko tinggi dapat dilakukan terapi farmakologi.

b. Pencegahan sekunder

Pencegahan sekunder merupakan upaya untuk mencegah atau menghambat timbulnya penyulit pada penderita yang telah terdiagnosis diabetes melitus tipe 2.

c. Pencegahan tersier

Pencegahan ini ditunjukkan kepada penyandang diabetes yang telah mengalami komplikasi dengan tujuan mencegah kecacatan lebih lanjut serta meningkatkan kualitas hidup.

2.2 Pangan Fermentasi

2.2.1 Pengertian Pangan Fermentasi

Pangan fermentasi merupakan bahan pangan yang dihasilkan dari proses fermentasi. Dimana proses fermentasi merupakan proses pengolahan pangan dengan memanfaatkan mikroba untuk menghasilkan produk olahan baru yang memiliki karakteristik aroma dan flavor yang khas. Pada proses fermentasi akan ada pemecahan substrat oleh mikroba menghasilkan alkohol, karbondioksida, ataupun asam organik (Azara dan Saidi, 2020).

Pangan fermentasi menurut Dimidi (2019) yang dikutip dari Mirdhayati, (2022) menyebutkan bahwa pangan fermentasi merupakan hasil dari proses biotransformasi bahan makanan atau minuman melalui pertumbuhan mikroorganisme yang dikendalikan, di mana mikroba tersebut berperan dalam menguraikan komponen pangan secara enzimatis untuk menghasilkan produk dengan karakteristik baru.

Makanan fermentasi merupakan bahan pangan yang mengalami pertumbuhan atau kolonisasi oleh mikroorganisme yang aman dikonsumsi. Mikroorganisme tersebut menghasilkan enzim seperti amilase, protease, dan lipase yang berperan dalam menguraikan polisakarida, protein, serta lipid menjadi senyawa yang tidak beracun, serta memiliki cita rasa, aroma, dan tekstur yang khas dan disukai oleh konsumen (Li *et al.*, 2022). Diketahui bahwa sekitar 5% hingga 40% dari seluruh makanan yang dikonsumsi manusia termasuk dalam kelompok makanan fermentasi yang berdampak positif terhadap kesehatan. Melalui proses fermentasi dapat dihasilkan senyawa-senyawa atau vitamin yang

tidak dijumpai pada bahan yang belum mengalami proses fermentasi. Maka, makanan fermentasi mempunyai nilai fungsional yang bermanfaat bagi kesehatan (Lindayani, *et al* 2025).

2.2.2 Jenis – Jenis Pangan Fermentasi

Ada beberapa jenis pangan lokal fermentasi menurut Apriyanto (2021) yaitu sebagai berikut:

a. Pangan berbasis buah

Salah satu pangan fermentasi berbasis buah yang ada di Bengkulu yaitu tempoyak merupakan makanan fermentasi berbahan dasar buah durian yang kaya akan vitamin, mineral, lemak, protein, serat serta memiliki aroma dan rasa yang khas. Tempoyak sebagai pangan fermentasi tradisional yang sangat terikat dengan peran mikroba terutama BAL (bakteri asam laktat) gram positif.

b. Pangan berbasis pati dan biji-bijian

Ada beberapa jenis makanan dan minuman yang dihasilkan dari proses fermentasi, yaitu sebagai berikut:

1. Tape umbi – umbian (ubi jalar, talas dan singkong)

Dalam pembuatan tape, terjadi perubahan karbohidrat menjadi etanol. Proses fermentasi tape dimulai dengan hidrolisis pati menggunakan enzim amilase yang berasal dari kapang, khamir, atau bakteri yang memiliki kemampuan memecah pati. Tape memiliki kelebihan yaitu dapat meningkatkan kadar vitamin B1 (tiamin) hingga tiga kali lipat. Vitamin ini dibutuhkan oleh sistem saraf, otot, dan pencernaan untuk

berfungsi dengan baik. Karena itu, tape dapat dikategorikan sebagai sumber probiotik yang bisa membantu proses pencernaan di dalam tubuh.

2. Tempe adalah pangan fermentasi berbahan baku kedelai. Mikroba yang berperan dalam pembuatan tempe adalah *Rhizopus oligosporus* (Azara dan Saidi, 2020).

3. *Nata de cassava*

Nata de Cassava adalah produk olahan singkong menggunakan isolate *Acetobacter xylinum*. Isolat ini mampu menghasilkan enzim yang dapat mengubah glukosa menjadi rantai serat atau selulosa. Dengan pertumbuhan banyak isolate di dalam medium, akan terbentuk lembaran-lembaran selulosa yang tampak padat dengan warna putih hingga transparan, yang dikenal sebagai nata.

- c. Pangan berbasis tumbuhan, salah satunya yang terkenal di Bengkulu ada *Lemea* atau lemah yang terbuat dari tunas bambu muda yang kemudian didiamkan atau diperam menggunakan air sehingga nanti setelah selesai proses fermentasi lemea/lemah akan mengeluarkan bau asam (Supandi, 2023).
- d. Pangan fermentasi berbasis ikan misalnya ada bekasam, bekasam yang merupakan produk hasil fermentasi ikan ini mempunyai rasa khas dengan paduan antara rasa asam dan asin yang dapat meningkatkan selera makan, namun saat ini bekasam sudah tidak banyak dikenal di masyarakat (Lestari, *et al*, 2022).

e. Pangan berbasis susu

Terdapat banyak produk berbasis susu diantaranya yoghurt, kefir, dangke, dadih dan keju *mozzarella* (Nabilah *et al.*, 2022).

1. Yakult

Yakult merupakan minuman probiotik hasil fermentasi yang memanfaatkan bakteri *Lactobacillus casei* strain Shirota. Produk ini dibuat dari susu skim yang dipadukan dengan air, sukrosa, dekstrosa, serta bahan perisa alami. Keberadaan probiotik di dalam Yakult mampu menghambat perkembangan bakteri patogen karena proses fermentasi menghasilkan asam laktat yang meningkatkan keasaman saluran pencernaan. Lingkungan yang lebih asam tersebut membatasi pertumbuhan mikroorganisme merugikan, termasuk *Salmonella typhi*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, dan *Staphylococcus aureus* (Arista *et al.*, 2021).

2. Yoghurt

Yoghurt merupakan produk fermentasi susu yang bersifat semi padat. Bahan utama yoghurt bisa berupa susu segar atau susu skim, yaitu susu tanpa lemak, yang dicampur dengan air dalam rasio tertentu untuk mendapatkan konsistensi yang diinginkan. Bakteri yang digunakan biasanya merupakan starter dengan kombinasi *Sterptococcus thermophillus* dan *Lactobacillus bulgaricus*, yang memiliki peran sinergis dalam pembentukan tekstur dan aroma. Selain itu, yoghurt juga memiliki manfaat seperti membantu pencernaan, mencegah diare,

mengurangi kadar kolesterol dalam darah yang tinggi, serta membantu melawan sel-sel kanker.

3. Keju *mozzarella*

Keju adalah produk pangan turunan susu yang diproduksi dengan cara mengkoagulasi protein kasein susu, sering kali melalui bantuan enzim rennet dan kultur bakteri asam laktat yang mengawali proses fermentasi. Keju *mozzarella* merupakan salah satu varietas keju lunak segar (*fresh soft cheese*) yang paling banyak dikonsumsi secara global. Berasal dari Italia, keju ini diklasifikasikan dalam kategori *pasta filata*, yang merujuk pada proses produksinya yang khas, yaitu pemanasan dan peregangannya (*curd*) dalam air panas untuk mencapai tekstur yang berserat dan elastis (Sulastri *et al.*, 2025).

2.2.3 Manfaat Pangan Fermentasi terhadap Kesehatan Metabolik

Makanan fermentasi tradisional dapat meningkatkan kesehatan melalui berbagai mekanisme, seperti produksi asam organik, perubahan komponen nutrisi, modulasi mikrobiota usus, serta aktivitas sistem imun. Mikroba hidup yang terkandung dalam makanan fermentasi berfungsi sebagai probiotik, yang mampu bertahan selama proses transit melalui lambung dan mencapai usus besar, tempat mereka menjalankan fungsinya (Xing *et al.*, 2023).

Mikrobiota usus mempunyai peran penting terhadap kesehatan, terutama dalam sistem imun dan penyerapan zat gizi. Mikrobiota ini merupakan kumpulan mikroorganisme di saluran gastrointestinal, termasuk bakteri dan bakteriofag. Ketidakseimbangan komposisi mikrobiota usus dapat meningkatkan risiko

berbagai penyakit, seperti penyakit radang usus, alergi, diabetes dan obesitas. Selain itu, mikrobiota usus berperan untuk menyerap energi dari karbohidrat yang tidak dicerna di usus halus, melalui fermentasi (Simanjuntak dkk.,2022).

Pangan fermentasi juga memberikan berbagai manfaat kesehatan, seperti efek antidiabetik, antioksidan, antiinflamasi serta peningkatan sistem imun. Selain itu, senyawa peptida hasil fermentasi, terutama dari susu memiliki manfaat lain seperti antihemolitik, antioksidan, anti mutagenik, menurunkan denyut jantung, mengurangi lemak hati dan kolesterol darah, serta berperan dalam modulasi mikroba usus dan aktivitas antimikroba (Purwandari *et al.*, 2024).

Pangan fermentasi memiliki potensi manfaat pada berbagai kondisi seperti penyakit radang usus, sindrom iritasi usus, serta penyakit celiac. Selain itu, pangan fermentasi juga berpengaruh pada gangguan ekstra intestinal seperti alergi, asma, obesitas, sindrom metabolik, dan penyakit kardiovaskular. Fermentasi juga berperan dalam menonaktifkan komponen pangan beracun dan menurunkan faktor antinutrisi (Li *et al.*, 2022).

Hasil kajian Ramadhani (2024) menegaskan pentingnya makanan fermentasi sebagai bagian dari strategi kesehatan masyarakat, mengingat kontribusinya dalam mendukung fungsi pencernaan, memperkuat imunitas, dan mencegah berbagai penyakit. Makanan fermentasi tradisional Indonesia tidak hanya bernilai budaya tetapi juga memiliki potensi besar sebagai pangan fungsional untuk meningkatkan kualitas hidup.

2.2.4 Peran Pangan Fermentasi terhadap Sensitivitas Insulin

Makanan fermentasi mengandung berbagai mikroorganisme probiotik serta komponen prebiotik yang tidak dapat dicerna. Fermentasi merupakan proses pemecahan gula oleh bakteri dan spesies ragi yang tidak hanya berperan dalam pengawetan makanan, tetapi juga berkontribusi dengan pertumbuhan bakteri penghasil asam lemak rantai pendek (short-chain fatty acids, SCFA) di kolon serta meningkatkan jumlah bakteri baik di usus. Konsumsi makanan fermentasi secara teratur telah dikaitkan dengan berbagai manfaat kesehatan, termasuk peningkatan fungsi pencernaan, peningkatan sistem imun, dan penurunan berat badan. Temuan ini menunjukkan bahwa makanan fermentasi berpotensi digunakan dalam merancang pendekatan terapi nutrisi yang efektif untuk kondisi obesitas (Jalili *et al.*, 2023).

Hubungan antara mikrobiota usus dan patogenesis diabetes melitus tipe 2 menunjukkan bahwa efek menguntungkan terhadap fenotipe metabolik inang sering dimediasi oleh SCFA, terutama asetat, butirat, dan propionat, yang merupakan metabolit kecil hasil fermentasi mikroba terhadap karbohidrat yang tidak dapat dicerna. SCFA berperan dalam mengatur homeostasis glukosa melalui beberapa mekanisme, antara lain menurunkan produksi glukosa, meningkatkan penyerapan glukosa dan sintesis glikogen di hati, meningkatkan massa sel β pankreas, serta mengatur sekresi insulin. Selain itu, SCFA berpotensi meningkatkan metabolisme lipid dengan meningkatkan kapasitas penyangga lipid jaringan adiposa, mengurangi peradangan jaringan adiposa, serta meningkatkan oksidasi asam lemak dan fungsi mitokondria di hati dan otot rangka (Tang *et al.*,

2021). Penelitian yang dilakukan oleh Pham (2023) juga mengatakan peningkatan kadar SCFA setelah intervensi dikaitkan dengan penurunan konsentrasi insulin puasa, sehingga memberikan efek menguntungkan terhadap sensitivitas insulin.

2.3 Asupan Zat Gizi

2.3.1 Karbohidrat

2.3.1.1 Pengertian Karbohidrat

Karbohidrat merupakan senyawa organik yang tersusun atas aldehida atau keton yang mengalami polihidroksilasi beserta turunannya. Istilah karbohidrat mencakup berbagai senyawa, termasuk polimer yang terbentuk dari aldehida dan keton terpolihidroksilasi. Kelompok senyawa ini juga dikenal sebagai sakarida, terutama untuk karbohidrat sederhana maupun seluruh golongan karbohidrat. Dalam makhluk hidup, karbohidrat memiliki berbagai fungsi penting, antara lain sebagai komponen struktural penyusun serat tumbuhan serta sebagai cadangan energi yang disimpan pada akar, biji, dan buah. Selain itu, karbohidrat juga terdapat pada jaringan hewan dan berperan dalam membentuk berbagai molekul yang memiliki fungsi struktural maupun fisiologis. Berdasarkan jumlah unit gula penyusunnya serta jenis ikatan kimia antarunit gula, karbohidrat dikelompokkan menjadi beberapa kategori, yaitu gula, pati, dan serat (Yunianto *et al.*, 2021).

2.3.1.2 Manfaat Karbohidrat

Manfaat karbohidrat menurut Simanjuntak (2022) sebagai berikut:

1. Karbohidrat sebagai sumber energi utama
2. Pemberi rasa manis
3. Pengatur metabolisme lemak
4. Menghemat fungsi protein

5. Sumber energi utama bagi otak dan susunan saraf pusat
6. Membantu pengeluaran feses

2.3.1.3 Kebutuhan Karbohidrat

Komposisi dan kebutuhan karbohidrat yang dianjurkan menurut perkeni (2021) yakni sebagai berikut:

- a. Karbohidrat yang dianjurkan berkisar antara 45-65% dari total kebutuhan energi harian, dengan mengutamakan sumber karbohidrat yang berserat tinggi.
- b. Pembatasan konsumsi karbohidrat hingga kurang dari 130 gram per hari tidak direkomendasikan bagi penyandang diabetes.
- c. Penggunaan glukosa dalam bumbu masakan masih diperbolehkan, sehingga penyandang diabetes melitus dapat mengonsumsi menu yang sama dengan anggota keluarga lainnya tanpa perlu menyiapkan makanan khusus.
- d. Asupan sukrosa sebaiknya dibatasi hingga tidak melebihi 5% dari total kebutuhan energi harian.
- e. Penderita diabetes melitus dianjurkan mengonsumsi makanan utama sebanyak tiga kali sehari. Apabila diperlukan, dapat ditambahkan makanan selingan, seperti buah atau jenis pangan lain, yang tetap diperhitungkan sebagai bagian dari total kebutuhan energi harian.

2.3.1.4 Sumber Karbohidrat

Beberapa jenis sumber karbohidrat menurut Yunianto (2021) yaitu sebagai berikut:

1. Beras

Beras merupakan bahan pangan pokok yang dikonsumsi oleh sebagian besar masyarakat Indonesia. Bahan pangan ini mengandung karbohidrat dalam jumlah tinggi sebagai sumber energi utama, namun memiliki kandungan protein yang relatif rendah. Di Indonesia terdapat beberapa jenis beras yang umum dikonsumsi, antara lain beras putih (*Oryza sativa* L.), beras merah (*Oryza nivara*), dan beras hitam (*Oryza sativa* L. *indica*).

2. Terigu

Terigu atau tepung terigu adalah tepung yang berasal dari bulir gandum. Tepung terigu biasa digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kue, mie, dan roti. Tepung terigu berfungsi untuk membentuk adonan, mengikat bahan lain, membentuk struktur yang kuat dan membentuk cita rasa. Protein yang terkandung dalam tepung terigu antara lain gluten, gliadin, albumin, globulin dan protease.

3. Padi-padian

Ketan (*Oryza sativa glutinosa*) masuk ke dalam kelompok varietas padi dan merupakan tumbuhan semusim. Beras ketan memiliki daya lekat yang jauh lebih tinggi dibandingkan beras biasa karena beras ketan mengandung amilopektin. Kadar lemak dalam beras ketan cukup rendah, hanya sekitar 0,7%, begitu juga dengan kandungan vitamin dan mineralnya. Vitamin yang terkandung dalam beras ketan di antaranya thiamin, riboflavin dan niacin. Sementara mineral yang terkandung dalam beras ketan adalah besi dan kalsium.

4. Ubi

Umbi-umbian adalah bahan makanan yang diperoleh dari dalam tanah. Contoh dari umbi-umbian yang bisa dikonsumsi sebagai sumber karbohidrat pengganti beras diantaranya:

a. Ubi kayu

Ubi kayu sering juga disebut dengan singkong. Kandungan zat gizi paling banyak dari ubi kayu ialah

karbohidrat, air, sedikit protein, lemak dan mineral. Perbedaan komponen zat gizi dari ubi kayu dipengaruhi oleh jenis atau varietas ubi kayu tersebut.

b. Ubi jalar

Selain karbohidrat kompleks, zat gizi yang terkandung dalam ubi jalar adalah serat, pati sederhana (oligosakarida), beta karoten, vitamin C, dan vitamin B6. Varietas ubi jalar dengan daging oranye gelap memiliki kandungan beta karoten dan vitamin A lebih tinggi dibandingkan dengan varietas lain.

c. Kentang

Di dalam kentang, terkandung zat gizi karbohidrat, protein, lemak dalam jumlah sedikit, mineral seperti besi, fosfor, magnesium, natrium, kalsium, dan kalium, serta vitamin. Perbandingan protein terhadap karbohidrat kentang lebih tinggi dibandingkan dengan biji sereal dan umbi lain. Kandungan asam amino yang seimbang pada kentang sangat baik bagi kesehatan

d. Ganyong

Kandungan karbohidrat pada ganyong cukup tinggi, yaitu sebesar 85,2 gram dalam 100 gram ganyong segar. Kandungan karbohidrat yang tinggi ini menyebabkan ganyong sangat tepat digunakan untuk membuat aneka olahan makanan pengganti beras.

e. Talas

Talas merupakan salah satu sumber karbohidrat dengan kandungan yang cukup tinggi, yaitu sekitar 77,9%. Ubi ini memiliki kadar amilopektin yang relatif tinggi, sehingga menghasilkan tekstur yang lengket dan pulen menyerupai beras ketan. Selain itu, pati yang terkandung dalam talas mudah dicerna oleh tubuh, sehingga sesuai dijadikan sebagai makanan bagi lanjut usia maupun sebagai bagian dari menu diet pada masa pemulihan setelah sakit.

f. Sagu dapat dikonsumsi sebagai bahan makanan pokok, misalnya papeda, sinoli, dan tutupola. Sagu memiliki kandungan karbohidrat yang lebih tinggi dibandingkan dengan beras maupun kelompok umbi-umbian lainnya. Kandungan energi yang dihasilkan sagu relatif sebanding dengan beras dan jagung. Selain sebagai sumber karbohidrat, sagu juga mengandung serat pangan yang berperan dalam mendukung kesehatan sistem pencernaan.

5. Roti

Roti adalah makanan olahan yang terbuat dari tepung terigu yang difermentasi menggunakan ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*) atau

bahan pengembang lainnya, untuk kemudian dipanggang. Beberapa jenis roti seperti roti gandum, baguette, croissant, bagel, roti tawar. Kandungan gizi dalam roti yang paling banyak adalah karbohidrat, namun demikian, komponen masing-masing zat gizi, seperti protein, lemak, dan mineral berbeda-beda, tergantung dari bahan baku pembuat roti.

6. Makanan jadi

Makanan jadi dalam kemasan seperti mie instan, dapat dilihat nilai gizinya yang tercetak di kemasannya.

2.3.2 Asupan Lemak

2.3.2.1 Pengertian Lemak

Lemak termasuk dalam kelompok zat gizi makro, dan merupakan salah satu senyawa organik yang memiliki sifat tidak dapat larut dalam air, namun dapat larut dalam pelarut organik non-polar contohnya eter, klorofom, dan benzena. Sifat tidak larut air ini disebut dengan hidrofobik (sukar larut dalam air). Lemak memainkan peran biologis yang sangat kompleks, diantaranya adalah sebagai penyusun struktur pada membran sel, sumber energi, dan pengaturan impuls saraf. Lemak menjadi salah satu unsur terpenting dalam kelompok zat gizi karena memiliki nilai energi yang tinggi untuk mendukung keberlangsungan makhluk hidup. 1 gram lemak dapat menghasilkan energi sebesar 9 kkal. Terdapat tiga komponen utama lemak yaitu trigliserida, fosfolipid, dan sterol. Trigliserida merupakan jenis lemak yang paling banyak ditemukan di dalam makanan. Lemak yang beredar dalam tubuh berasal dari makanan yang dikonsumsi dan juga dari hasil produksi organ hati (Fauziah *et al.*, 2025).

2.3.2.2 Manfaat Lemak

Lemak memainkan peranan penting dalam biologi sebagai sumber energi yang padat dan sebagai komponen struktural membran sel. Selain itu, lemak juga berfungsi sebagai pengantar beberapa vitamin yang larut dalam lemak dan sebagai isolator untuk menjaga suhu tubuh (Baharuddin *et al.*, 2024). Selain itu fungsi lemak yaitu sebagai cadangan energi, penyimpanan makanan dan transport, sebagai hormon mengatur yang komunikasi antar sel, sebagai vitamin yang membantu regulasi proses-proses biologi serta sebagai kulit pelindung komponen dinding sel (Mamuaja, 2017).

2.3.2.3 Kebutuhan Lemak

Kebutuhan asupan lemak yang dianjurkan menurut Perkeni (2021), yaitu sebagai berikut:

- a. Konsumsi lemak yang dianjurkan pada penderita diabetes melitus berkisar antara 20–25% dari total kebutuhan energi harian dan sebaiknya tidak melebihi 30% dari total asupan energi.
- b. Jenis lemak yang direkomendasikan terdiri atas lemak jenuh (SAFA) kurang dari 7% dari total kebutuhan energi, lemak tidak jenuh ganda (PUFA) kurang dari 10%, sedangkan kebutuhan lemak lainnya dapat dipenuhi dari lemak tidak jenuh tunggal (MUFA) sekitar 12–15%. Perbandingan komposisi lemak yang dianjurkan antara lemak jenuh, lemak tidak jenuh tunggal, dan lemak tidak jenuh ganda adalah 0,8 : 1,2 : 1.

- c. Jenis pangan yang perlu dibatasi adalah makanan dengan kandungan lemak jenuh dan lemak trans tinggi, seperti daging berlemak serta produk susu tinggi lemak (full cream).

2.3.2.4 Sumber Lemak

Lemak yang terdapat dalam makanan adalah campuran dari jenis lemak jenuh (SFA/*Saturated Fatty Acid*), lemak tak jenuh tunggal (MUFA/*Monounsaturated Fatty Acid*), dan lemak tak jenuh ganda (PUFA/*Polyunsaturated Fatty Acid*). Penggolongan makanan berdasarkan sumber lemak didasarkan pada kandungan dominan dari jenis asam lemak yang terdapat di dalam makanan tersebut.

- a. Asam lemak jenuh

Salah satu karakteristik sumber makanan yang mengandung tinggi asam lemak jenuh adalah padat di suhu ruang. Beberapa sumber pangan yang tinggi asam lemak jenuh diantaranya adalah minyak kelapa, daging merah, susu full krim, gorengan dan makanan lain yang digoreng terutama dengan teknik *deep frying*. Sebagian besar sumber pangan tinggi asam lemak jenuh berasal dari kelompok bahan pangan hewani (meskipun jenis unggas dan telur justru memiliki kandungan asam lemak tak jenuh lebih tinggi). Konsumsi berlebih pada makanan dengan kandungan lemak jenuh yang tinggi dapat meningkatkan kadar LDL (*Low Density Lipoprotein*) dan berisiko menyebabkan terjadinya penyakit jantung.

- b. Asam lemak tak jenuh

Asam lemak tak jenuh memiliki karakteristik yang cenderung berbentuk cair pada suhu ruang, hal tersebut dikarenakan adanya ikatan rangkap

struktur kimia pada asam lemak tak jenuh ($C=C$) yang dapat menciptakan lengkungan pada rangkai karbon sehingga asam lemak tidak saling menempel dengan rapat. Beberapa makanan yang mengandung asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA) diantaranya adalah kacang almond, kacang mete, kacang tanah, minyak zaitun, alpukat, unggas, dan telur. Sumber pangan yang mengandung lemak tak jenuh ganda (PUFA) contohnya minyak jagung dan minyak kedelai yang mengandung asam lemak linoleat (LA) atau omega-6, sedangkan ikan salmon, ikan makarel, ikan tuna, biji-bijian utuh, polong-polongan, kacang-kacangan, sayuran berdaun hijau tua kaya akan asam lemak alfa-linolenat (ALA) atau omega-3 EPA dan DHA merupakan jenis asam lemak omega-3 yang banyak terdapat pada ikan atau sumber pangan laut.

2.3.3 Asupan Serat

2.3.3.1 Pengertian Serat

Serat atau dikenal juga dengan *fiber* merupakan bagian dari sel tumbuh-tumbuhan yang tidak dapat dicerna oleh enzim atau alat pencernaan lainnya. Definisi lain tentang serat makanan menurut (*The American Association of Cereal Chemist/AACC*, 2001) adalah bagian yang dapat dimakan dari tanaman atau karbohidrat analog yang resisten terhadap pencernaan dan absorpsi pada usus halus dengan fermentasi lengkap atau partial pada usus besar. Serat makanan yang dimaksud meliputi pati, polisakarida, oligosakarida, lignin, dan bagian tanaman lainnya (Maryoto, 2008).

Serat pangan adalah kumpulan zat yang bervariasi dengan efek biologis yang berbeda-beda. Sifatnya yang tidak dapat dicerna sepenuhnya serta tidak diserap di usus kecil manusia, namun dapat mengalami fermentasi sebagian atau sepenuhnya di usus besar (Fauziah *et al.*, 2025).

2.3.3.2 Struktur dan Klasifikasi Serat

Struktur serat pangan dalam Gropper (2018), *Advanced Nutrition and Human Metabolism, 7th Edition*:

1. Selulosa

Polimer linier yang panjang (zat dengan berat molekul tinggi yang terdiri dari rantai yang berulang) yang terdiri dari hingga 10.000 unit glukosa yang saling berikatan. Sebagai molekul besar, linier, dan bermuatan netral, selulosa tidak larut dalam air, meskipun dapat dimodifikasi secara kimiawi untuk digunakan sebagai bahan tambahan makanan dan bentuk yang dimodifikasi ini mungkin lebih mudah larut dalam air dan lebih mudah difermentasi oleh bakteri usus besar

2. Hemiselulosa

Terdiri dari kelompok polisakarida yang heterogen. Polisakarida ini bervariasi di antara tanaman dan di dalam tanaman tergantung pada lokasinya.

3. Pektin

Pektin, serat makanan dan fungsional, merupakan keluarga lain dari polisakarida heterogen yang ditemukan di dinding sel tanaman, daerah antar sel tanaman, dan di kulit luar serta kulit buah dan sayuran. Rantai

pentosa (xilosa dan arabinosa) dan heksosa (galaktosa, rhamnosa, dan fukosa) melekat pada tulang punggung pectin.

4. Phenol dalam Lignin

Lignin adalah polimer yang sangat bercabang dari unit-unit fenol (dibandingkan gula) dengan ikatan intramolekul yang kuat. Fenol utama yang menyusun lignin termasuk trans-koniferil, trans-sinapil, dan trans-p-koumaril. Lignin tidak larut dalam air, memiliki daya ikat hidrofobik, dan umumnya tidak difermentasi oleh bakteri kolon.

5. Gum

Gum mengandung tulang punggung galaktosa utama yang digabungkan dengan ikatan β (1-3) dan ikatan β (1-6) dengan rantai samping galaktosa, arabinosa, rhamnosa, asam glukuronat, atau asam metilglukuronat.

6. β -Glukan

β -Glukan merupakan homopolimer dari unit glukosa, tetapi ukurannya lebih kecil dan mengandung ikatan yang berbeda dari selulosa. β -glukan larut dalam air, dapat difermentasi dengan baik oleh bakteri kolon, dan membentuk gel kental di dalam saluran pencernaan.

Pengklasifikasian serat didasarkan pada kelarutan serat atau terfermentasi dengan baik dan ketidaklarutan serat/tidak terfermentasi, menurut Yusuf (2022) yaitu:

- a. Serat Larut, seperti β -Glukan, lendir, pektin, dan getah, adalah serat yang larut dalam air yang dihasilkan dari daging bagian dalam tanaman. Serat-serat ini menghasilkan gel lengket di dalam usus besar, di mana bakteri mencernanya menjadi gas dan produk sampingan seperti asam lemak

rantai pendek (SCFA). Gandum, selai, buah-buahan, kacang polong, kacang-kacangan, polong-polongan lainnya, dan sebagian besar sayuran akar mengandung serat larut yang tinggi. Serat larut mudah dicerna dan dapat meningkatkan volume feses dengan mendukung pertumbuhan mikrobioma usus dan produk sampingannya yaitu asam lemak rantai pendek (SCFA), yang menjaga integritas usus besar dan memulai serangkaian efek menguntungkan lainnya.

- b. Serat tidak larut berasal dari kulit luar tanaman, tidak mudah difermentasi, tidak larut dalam air, dan dalam banyak kasus, tidak dapat difermentasi oleh bakteri di usus besar. Sebagai efeknya, serat ini membentuk sebagian besar feses dan membantu dalam proses laksasi. Sumber serat tidak larut termasuk selulosa yang ditemukan dalam kentang, dedak jagung, kulit sebagian besar buah-buahan, banyak sayuran hijau, dan beberapa tanaman buah. Biji-bijian utuh mengandung hemiselulosa, sedangkan kacang-kacangan dan biji-bijian mengandung lignin. Serat tidak larut memiliki efek menggembungkan untuk meningkatkan massa feses, meredakan sembelit, dan meningkatkan keteraturan pencernaan.

2.3.3.3 Manfaat Serat

Beberapa manfaat serat pangan menurut Fauziah (2025) adalah sebagai berikut:

- a. Manfaat terhadap kesehatan jantung

Serat pangan, terutama serat larut, memiliki peran dalam menurunkan kolesterol jahat (LDL) yang merupakan faktor risiko utama penyakit

jantung. Studi menunjukkan bahwa konsumsi serat yang cukup membantu menjaga tekanan darah tetap normal dan meningkatkan kesehatan jantung.

b. Mengurangi resiko diabetes tipe 2

Konsumsi serat dapat membantu mengontrol kadar gula darah dengan memperlambat penyerapan glukosa ke dalam aliran darah. Hal ini mengurangi risiko terjadinya lonjakan gula darah dan menurunkan risiko diabetes melitus tipe 2

c. Manajemen berat badan

Serat memberikan rasa kenyang yang lebih lama, membantu mengontrol nafsu makan, dan mengurangi keinginan untuk makan berlebihan. Hal ini dapat bermanfaat untuk pencegahan obesitas.

2.3.3.4 Kebutuhan Serat

Kebutuhan asupan serat harian yang dianjurkan menurut Perkeni (2021) sebagai berikut:

- a. Penderita diabetes melitus dianjurkan mengonsumsi serat dari kacang-kacangan dan sayuran serta karbohidrat yang tinggi serat.
- b. Jumlah konsumsi serat yang disarankan adalah 35 gram perhari.

2.3.3.5 Sumber Serat

Tipe serat dalam makanan yakni terbagi menjadi dua kategori, sebagaimana disajikan pada tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.1 Sumber Serat dalam Makanan

Tipe serat	Sumber
Serat Tidak Larut Air	
Selulosa	Semua makanan nabati, terutama dedak gandum, polong-polongan, kacang - kacangan, kacang polong, umbi-umbian (seperti wortel), sayuran dari keluarga kubis, seledri, brokoli, biji-bijian, dan ape
Hemiselulosa	Biji-bijian utuh, terutama dedak, kacang-kacangan, dan polong-polongan
Lignin	Biji-bijian utuh, terutama dedak gandum, umbi-umbian matang (seperti wortel), buah-buahan berbiji yang bisa dimakan (seperti stroberi), dan brokoli (terutama batangnya)
Serat Larut Air	
Pektin	Buah jeruk, stroberi, apel, raspberry, polong-polongan, kacang-kacangan, beberapa sayuran (seperti wortel), dan oat
Gum	Oatmeal, barley, dan kacang-kacangan
B-Glucan	Oat dan barley
Pati Resisten	Biji-bijian dan biji-bijian yang digiling Sebagian, pisang mentah (hijau), polong-polongan, kentang mentah, dan jagung tinggi amilosa, nasi, pasta, kentang matang dingin, dan jagung tinggi amilosa
Fruktan	Chicory, asparagus, bawang merah, bawang putih, artichoke, tomat, pisang, gandum hitam, dan barley
Kitosan, kitin	Cangkang kepiting, udang, dan lobster

Sumber: Gropper (2018)

2.3.4 Asupan Zink

2.3.4.1 Pengertian Zink

Zink atau seng merupakan salah satu mineral mikro (*trace mineral*) yang esensial bagi seluruh makhluk hidup, termasuk tumbuhan, hewan, maupun mikroorganisme. Unsur ini memiliki simbol kimia Zn. Zink berfungsi dalam berbagai proses biologis penting, seperti mendukung pertumbuhan dan perkembangan, menjaga fungsi sistem saraf, memperkuat sistem imun, serta berperan dalam proses reproduksi (Azrimaidaliza *et al.*, 2020).

Zink merupakan unsur anorganik yang terdapat dalam jumlah kecil pada cairan serta jaringan tubuh, namun memiliki peran penting dalam proses pertumbuhan dan berbagai fungsi fisiologis. Sekitar 85% zink dalam tubuh tersimpan di jaringan otot dan tulang, 11% berada pada kulit dan hati, sedangkan sisanya tersebar di berbagai jaringan lainnya. Dalam plasma, sekitar 60% zink berikatan dengan albumin, 40% terikat pada makroglobulin, dan sekitar 3% berasosiasi dengan asam amino serta fraksi ultrafiltrasi ginjal (Zupo *et al.*, 2022).

Zink tidak dapat disintesis secara alami oleh tubuh manusia, sehingga asupan zink dari luar tubuh sangat diperlukan untuk mempertahankan kadar yang optimal. Unsur ini merupakan elemen jejak terbanyak kedua setelah zat besi. Selain itu, zink memiliki peran penting dalam sistem endokrin, khususnya dalam proses pembentukan serta menjaga stabilitas struktur hormon insulin (Stiles *et al.*, 2024).

Zink dikategorikan sebagai mineral mikro esensial karena kebutuhan hariannya dalam tubuh relatif kecil, yakni kurang dari 100 mg per hari, dengan total kandungan dalam tubuh manusia dewasa diperkirakan mencapai 2 hingga 2,5 gram. Meskipun jumlahnya sedikit, zink memiliki fungsi biologis yang sangat vital. Peran utamanya mencakup dukungan terhadap proses penyembuhan luka, bantuan dalam pencernaan dan metabolisme karbohidrat, serta partisipasi dalam berbagai proses metabolisme di dalam tubuh secara umum. Selain itu, zink sangat penting untuk meningkatkan fungsi normal kelenjar prostat, serta mendukung

pertumbuhan dan perkembangan organ reproduksi yang optimal (Simanjuntak dkk., 2022).

Zink terdapat di dalam hati, pankreas, spermatozoa, kulit, rambut dan kuku. Kekurangan zink dapat menimbulkan gangguan pertumbuhan, gangguan metabolisme dan penyembuhan luka lambat. Kelebihan zink dalam tubuh dapat mengganggu dan menurunkan absorpsi tembaga, gangguan metabolisme kolesterol, muntah, diare, demam, gangguan reproduksi (Mardalena, 2021).

2.3.4.2 Manfaat Zink

Berdasarkan Badan Pengawas Obat dan Makanan Bpom RI (2020), zink memiliki peran penting dalam berbagai proses metabolisme tubuh karena berfungsi sebagai:

- a. Kofaktor esensial bagi sejumlah enzim yang berperan dalam berbagai reaksi biokimia, termasuk proses sintesis protein dan komponen tubuh lainnya.
- b. Elemen yang berperan dalam regulasi genetik, khususnya dalam pembentukan DNA serta proses pertumbuhan dan perkembangan sel.
- c. Komponen penting kelenjar timus pada anak, yang berfungsi dalam pembentukan sel limfosit T, yaitu jenis sel darah putih yang berperan utama dalam menjaga dan meningkatkan sistem kekebalan tubuh.

Selain itu, zink berperan dalam menjaga keseimbangan fungsi berbagai jaringan tubuh serta memiliki peran penting dalam modulasi fungsi sistem pankreas. Zat gizi ini juga berkontribusi dalam pengendalian diabetes melalui

kemampuannya dalam membantu regulasi kadar glukosa darah. Zink merupakan mineral esensial yang berperan dalam homeostasis insulin melalui keterlibatannya pada proses sintesis, penyimpanan, dan sekresi insulin serta regulasi reseptor insulin pada jaringan target (Adinda dan Luthfiyah, 2023).

Zink juga berfungsi dalam sintesis dan degradasi kolagen, pembentukan kulit, metabolisme jaringan ikat dan penyembuhan luka, memiliki peran dalam pengembangan reproduksi laki-laki dan pembentukan sperma serta sebagai detoksifikasi alkohol dan metabolisme vitamin A (Almatsier, 2004).

2.3.4.3 Kebutuhan Zink

Kebutuhan asupan zink harian disajikan berikut ini:

Table 2.2 Kebutuhan Asupan Zink

Usia	Mg	Usia	Mg
		Perempuan	
0-5 bulan	1,1	10-12 tahun	8
6 bulan-3 tahun	3	13-18 tahun	9
4-9 tahun	5	19-80 tahun	8
Laki- Laki		Hamil (+an)	
10-12 tahun	8	Trimester 1	+2
13-80 tahun	11	Trimeser 2-3	+4

Sumber: AKG (2019)

2.3.4.4 Sumber Zink

Zink sebagai nutrisi esensial, dapat ditemukan melimpah dalam berbagai sumber protein hewani, seperti daging, hati, kerang-kerangan, dan telur. Sementara itu, sumber protein nabati, seperti legum atau kacang-kacangan dan sereal, juga mengandung kadar zink yang signifikan, namun bioavailabilitas mineral tersebut relatif rendah akibat adanya faktor antinutrisi seperti fitat yang menghambat penyerapannya (Ramadhan *et al.*, 2020).

Bahan makanan yang mengandung zink disajikan pada tabel 2.3.

Table 2.3 Bahan Makanan Sumber Zink (mg/100g)	
Bahan Makanan	Kandungan Zink
Tiram	80 mg / 100 g
Biji labu, daging sapi, kepiting	5,00 – 9,00 mg/ 100 g
Kacang panggang, kacang mete dan keju	4,00 – 5,00 mg/ 100 g
Lobster, daging babi dan almond	3,00 – 4,00 mg/ 100 g
Kacang merah, daging ayam dan kacang arab	1,50 – 3,00 mg/ 100 g
Oatmeal, susu, dan kacang polong hijau	1,00 – 1,50 mg/ 100 g
Ikan flounder dan yoghurt	0,25 – 1,00 mg/ 100 g

Sumber: Sangeetha (2022)

2.3.4.5 Peran Zink dalam Metabolisme Glukosa

Penelitian yang dilakukan oleh Genova (2024) menunjukkan bahwa status zink memiliki peran potensial dalam regulasi metabolik, terutama melalui hubungan yang signifikan dengan indeks sensitivitas dan resistensi insulin. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa biomarker baru terkait status zink dapat dimanfaatkan sebagai indikator laboratorium dalam menilai resistensi insulin, khususnya pada populasi wanita hamil.

Penelitian eksperimental secara konsisten menggambarkan manfaat zink dalam konteks diabetes melitus. Zink berperan penting dalam fungsi sel β pankreas, aktivitas insulin, serta pemeliharaan homeostasis glukosa. Kekurangan zink dapat mengganggu metabolisme glukosa melalui penurunan fungsi sel β dan peningkatan stres oksidatif serta inflamasi (Ahmad *et al.*, 2024).

Hasil penelitian klinis yang dilakukan oleh Daneshvar (2024) juga menunjukkan efek positif suplementasi zink terhadap pengendalian glikemik pada individu dengan diabetes melitus. Suplementasi zink terbukti mampu menurunkan

kadar glukosa darah puasa (FBS), HOMA-IR, insulin, serta HbA1c. Secara keseluruhan, temuan ini mengindikasikan bahwa zink berpotensi menjadi intervensi komplementer yang efektif dalam meningkatkan biomarker pengendalian diabetes tipe 2. Serta Kristiningrum (2021) menyatakan zink berperan dalam menurunkan penyerapan glukosa dan pembentukan glukosa, serta pemecahan glukosa meningkat.

2.4 Hubungan Konsumsi Pangan Fermentasi dengan Kadar Gula Darah Penderita Diabetes Melitus

Penelitian Zhang (2024) mengatakan bahwa konsumsi pangan fermentasi memiliki potensi untuk memperbaiki berbagai indikator metabolik pada individu dengan diabetes maupun pradiabetes. Perbaikan tersebut mencakup peningkatan homeostasis resistensi insulin, penurunan kadar kolesterol total, LDL, serta penurunan tekanan darah sistolik. Sejalan dengan temuan tersebut, penelitian Chan (2024) juga mengungkapkan bahwa hampir seluruh makanan fermentasi berbahan dasar nabati yang dievaluasi, jika dibandingkan dengan kelompok kontrol, memberikan peningkatan signifikan pada parameter lipid, glukosa, antropometri, serta beberapa indikator inflamasi pada penderita dengan diabetes melitus tipe 2 dan obesitas. Selain itu, konsumsi makanan fermentasi berbahan dasar nabati terbukti memicu perubahan komposisi mikrobiota usus yang selanjutnya berkorelasi dengan perbaikan indikator metabolik serta pola ekspresi gen.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Souza (2020) menegaskan bahwa makanan fermentasi tradisional berpotensi menjadi pendukung yang signifikan

dalam terapi komplementer dan alternatif untuk diabetes, karena mampu membantu meningkatkan pengendalian glukosa darah, mendukung pemulihan atau stabilitas berat badan, serta memperkuat kapasitas antioksidan tubuh. Namun demikian, beberapa penelitian yang menunjukkan hasil yang lebih bervariasi khususnya terkait konsumsi produk susu fermentasi. Penelitian yang dilakukan oleh Kui (2022) menunjukkan bahwa asupan makanan olahan susu fermentasi berkaitan dengan penurunan risiko diabetes, dan efeknya bergantung pada dosis.

Pangan fermentasi mengandung asam folat (vitamin B9) yang berperan dalam metabolisme homosistein dapat menurunkan kadar homosistein darah. Peningkatan kadar homosistein pada penderita diabetes melitus tipe 2 diketahui dapat menghambat fosforilasi insulin receptor substrate-2 (IRS-2) serta mengaktifkan jalur serin-treonin protein kinase, yang selanjutnya menyebabkan resistensi insulin dan peningkatan kadar gula darah (Romero *et al.*, 2021).

Proses fermentasi melibatkan mikroorganisme dan berpotensi memiliki probiotik (Lindayani *et al.*, 2025). Probiotik mengatur glukosa darah dengan menurunkan tingkat peradangan dan protein inflamasi. Probiotik dapat memperbaiki peradangan dengan memberikan efek positif pada disfungsi sel epitel dan sistem kekebalan mukosa yang membentuk dasar peradangan. Probiotik meringankan gejala tubuh pada pasien diabetes melitus tipe 2 dikaitkan dengan peningkatan kadar sitokin pro-inflamasi, kemokin, dan protein inflamasi. Oleh karena itu, peradangan sistemik tingkat rendah diyakini memainkan peran penting dalam perkembangan diabetes melitus tipe 2 serta komplikasi terkaitnya (Shen *et al.*, 2024).

Penderita diabetes juga ditandai dengan perubahan mikrobioma usus, yang dapat menyebabkan obesitas, endotoksemia metabolik, disfungsi sel B, peradangan sistemik, dan stres oksidatif yang berhubungan dengan penyakit (Suresh, 2018). Akibat ketidakseimbangan mikrobioma usus pada diabetes melitus tipe 2, produksi SCFA berkurang (Yoo and Kim, 2016). Modulasi mikrobiota usus yang lebih seimbang, yang kemudian meningkatkan hasil asam lemak rantai pendek (short-chain fatty acids/SCFAs) seperti butirat, asetat, dan propionate, produk metabolik dari bakteri fermentasi yang terbentuk ketika mikroba mencerna karbohidrat yang tidak tercerna. SCFA ini dapat memengaruhi sekresi hormon yang terlibat dalam pengaturan gula darah, meningkatkan sensitivitas insulin di sel-sel tubuh, serta menghambat enzim pencernaan tertentu yang memperlambat penyerapan glukosa usus, sehingga membantu mengurangi lonjakan gula darah setelah makan (Markowiak-kope and Slizewska, 2020).

2.5 Hubungan Asupan Karbohidrat dengan Kadar Gula Darah

Temuan Naswa (2024) menyatakan ada hubungan yang bermakna antara kadar glukosa darah dengan asupan karbohidrat, indeks dan beban glikemik dengan kadar glukosa darah. Asupan karbohidrat berlebih dapat menyebabkan peningkatan glukosa darah dalam tubuh, akibatnya pankreas perlu mengeluarkan hormon insulin untuk merangsang penyerapan glukosa ke dalam sel-sel tubuh. Kelebihan asupan energi dibandingkan kebutuhan tubuh dapat meningkatkan jumlah glukosa yang tersedia dalam sirkulasi darah. Pada diabetes melitus tipe 2, adanya resistensi insulin menyebabkan gangguan pemanfaatan glukosa oleh jaringan, sehingga kadar glukosa darah mengalami peningkatan. Karbohidrat

berperan sebagai sumber utama glukosa yang digunakan tubuh untuk menghasilkan energi. Glukosa memiliki peranan penting dalam metabolisme karbohidrat dan menjadi sumber energi utama bagi jaringan tertentu, termasuk sel darah merah, otak, serta sistem saraf.

Asupan karbohidrat yang terbatas dapat memberikan manfaat terapeutik yang signifikan untuk pengaturan glikemik pada penderita diabetes meleitus tipe 2. Seiring dengan perkembangan gangguan toleransi glukosa, fungsi sel β pancreas dapat menurun karena efek merusak dari toksisitas glukosa. Menurunkan konsentrasi glukosa dapat membantu mengurangi toksisitas glukosa, sehingga meningkatkan fungsi sel β (Lan *et al.*, 2025).

Penelitian Hasdipa dan Maigoda (2024) juga menyatakan bahwa ada hubungan antara kadar glukosa darah puasa dengan asupan karbohidrat, asupan serat, dan aktivitas fisik pada wanita obesitas aparatur sipil negara di Dinas Perpustakaan dan Kearsipan Daerah Provinsi Bengkulu.

2.6 Hubungan Asupan Lemak dengan Kadar Gula Darah

Penelitian yang dilakukan oleh Tantri (2024) melaporkan bahwa ada hubungan yang signifikan antara asupan zat gizi makro (energi, protein dan lemak), indeks glikemik dan beban glikemik dengan kadar gula darah sewaktu pada pasien diabetes melitus tipe 2. Hal ini menunjukkan ketika mengonsumsi makanan tinggi lemak, terutama lemak jenuh dan trans, maka insulin dalam darah menjadi kurang efektif dalam mengatur kadar glukosa darah, akibatnya terjadi resistensi insulin, akibatnya sel-sel tubuh tidak merespons insulin dengan baik,

sehingga glukosa tidak dapat dengan efisien dimasukkan ke dalam sel-sel tubuh untuk digunakan sebagai energi.

Studi yang dilakukan oleh Safitri (2024) juga mengatakan adanya hubungan antara asupan lemak dengan kadar trigliserid pada penderita diabetes melitus tipe 2. Pada diabetes melitus tipe 2 ada dua proses metabolisme yang tidak normal, yaitu produksi kolesterol jahat berlebih dan pemecahan lemak yang berlebihan sehingga mengakibatkan penumpukan lemak dalam jumlah yang besar dalam aliran darah (lipolisis), sehingga terjadinya resistensi insulin.

Kelebihan lemak di tubuh lebih mudah mengalami diabetes melitus yang tidak tergantung insulin. Saat lemak diubah menjadi energi, kadar asam lemak dalam darah akan meningkat. Kenaikan kadar asam lemak dalam darah dapat meningkatkan resistensi terhadap insulin (Wahyuni 2012 dalam Syahda, 2019).

2.7 Hubungan Asupan Serat dengan Kadar Gula Darah

Penelitian yang dilakukan oleh Hamama (2024) menyebutkan ada hubungan yang bermakna antara asupan serat dengan kadar glukosa darah pada penderita diabetes melitus. Makanan yang tinggi serat dapat meningkatkan rasa kenyang lebih lama sehingga dapat membantu dan menurunkan kadar glukosa darah, tidak hanya itu serat juga berfungsi sebagai pencegahan penyakit dan komponen penting dalam terapi gizi. Penelitian Zakiyah (2023) juga mengatakan adanya korelasi yang signifikan antara asupan karbohidrat dan serat dengan kadar glukosa darah pada pasien rawat inap diabetes mellitus. Mekanisme serat yang berhubungan dengan glukosa terkait dengan fungsi dan karakteristik sifat serat dalam pencernaan. Asupan serat pangan berperan dalam pengaturan

kadar glukosa darah melalui kemampuannya memperlambat proses pencernaan dan penyerapan glukosa. Oleh karena itu, rendahnya konsumsi serat dapat menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah pada penderita diabetes melitus.

Gropper (2018) mengungkapkan secara khusus, mengonsumsi makanan yang kaya akan serat pembentuk gel kental membantu mengontrol kadar gula darah sebagian besar karena memperlambat laju penyerapan glukosa dan sekresi insulin. Penurunan sekresi insulin diperkirakan sebagian disebabkan oleh penyerapan glukosa yang lebih lambat ke dalam darah serta perubahan sekresi peptida pengatur saluran pencernaan seperti peptida mirip glukagon dan peptida insulinotropik yang bergantung pada glukosa, yang memengaruhi sekresi glukagon dan insulin serta motilitas saluran pencernaan. Perubahan dalam katabolisme glikogen dan pelepasan glukosa ke dalam darah juga dapat dipengaruhi oleh asam lemak rantai pendek yang diproduksi dengan fermentasi serat di usus besar.

2.8 Hubungan Asupan Zink dengan Kadar Gula Darah

Hasil penelitian Junia (2025) mengatakan bahwa peningkatan konsumsi zink berkaitan dengan penurunan kadar glukosa darah puasa. Zink ditemukan pada berbagai bahan pangan, kandungannya umumnya rendah dan hanya beberapa jenis makanan yang tergolong sebagai sumber zink utama, seperti daging sapi, daging ayam, kerang, susu, serta beberapa jenis kacang-kacangan termasuk kacang hijau, kacang merah, dan kacang tanah.

Penelitian yang dilakukan Aruan (2023) menyatakan bahwa tingkat asupan magnesium dan zink berhubungan dengan kadar gula darah puasa. Keduanya

tampak memiliki peran dalam pengaturan metabolisme glukosa, sehingga variasi dalam konsumsi kedua mineral tersebut dapat memengaruhi stabilitas kadar glukosa darah. Temuan ini menunjukkan bahwa kecukupan magnesium dan zink berpotensi menjadi salah satu faktor pendukung dalam menjaga keseimbangan glukosa dalam darah dengan populasi lanjut usia.

Penelitian Adinda dan Luthfiah (2023) bahwa defisit konsumsi mineral zink harian dapat mempengaruhi hasil kadar gula darah sewaktu semakin tinggi, sedangkan tingkat konsumsi selenium dan zink yang berlebih dapat menghasilkan kadar gula darah sewaktu mendekati nilai normal. Temuan penelitian oleh Wardani dan Sholihah (2025) juga menyebutkan ada hubungan status hiperglikemia pada diabetes melitus tipe 2 dengan asupan serat, asupan seng, dan aktivitas fisik.

Zink berperan penting dalam proses kristalisasi, pematangan, dan pensinyalan insulin. Zink juga berkontribusi dalam aktivasi jalur fosfatidilinositol-3-kinase/protein kinase B (PI3K/Akt) yang berperan utama dalam regulasi metabolisme glukosa dan sensitivitas insulin (Ferdowsi *et al.*, 2023). Sebagai kofaktor enzimatik, zink berfungsi dalam sistem antioksidan serta metabolisme karbohidrat, sekaligus mendukung fosforilasi sub unit β reseptor insulin dan translokasi glucose transporter-4 (GLUT4) ke membran sel, sehingga meningkatkan pengambilan glukosa oleh jaringan perifer. Selain itu, insulin secara fisiologis disimpan dalam bentuk struktur heksamerik yang terbentuk melalui ikatan dengan dua ion zink, suatu proses yang esensial untuk pematangan

dan stabilitas insulin di dalam granula sekretori sel β pancreas (Ahmad *et al.*, 2024).

Sel β pankreas mengekspresikan berbagai protein pengangkut zink spesifik yang berperan krusial dalam sekresi insulin. Salah satu protein utama adalah zink transporter 8 (ZnT8), yang memiliki peran penting dalam kristalisasi, pemrosesan, penyimpanan, dan pelepasan insulin, serta dalam pengaturan metabolisme glukosa secara keseluruhan. ZnT8 bertanggung jawab mengangkut zink ke dalam granula sekretori sel β pankreas, sehingga memungkinkan terbentuknya heksamer insulin-zink yang diperlukan untuk pematangan dan sekresi insulin. Kekurangan zink dapat menurunkan ekspresi ZnT8, yang pada akhirnya mengganggu proses sekresi insulin. Selain ZnT8, protein pengangkut zink lainnya, seperti ZnT5 dan ZnT6, juga terlibat dalam pengangkutan zink ke dalam vesikel sel β pankreas, tempat zink berperan dalam metabolisme proinsulin dan pembentukan insulin matang. Sementara itu, ZnT7 berfungsi mengangkut zink ke aparatus Golgi sel β pankreas, suatu tahap penting dalam proses pembentukan dan pemrosesan insulin yang optimal (Kambe *et al.*, 2014).

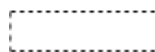
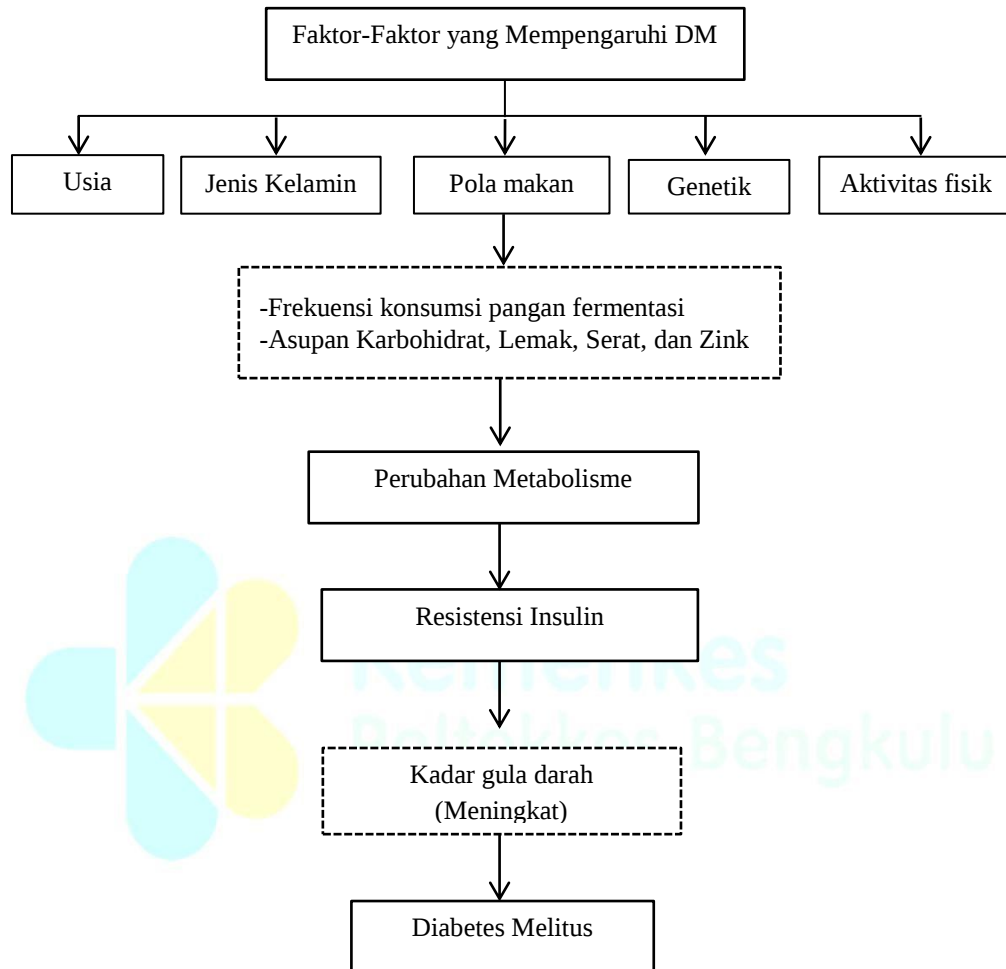
Zink juga berperan dalam meningkatkan penyerapan glukosa oleh sel dengan menginduksi ekspresi gen pengangkut glukosa, seperti GLUT1 dan GLUT4, serta mengatur aktivitas enzim-enzim glukoneogenik di hati, termasuk glukosa-6-fosfatase (G6Pase) dan fosfoenolpiruvat karboksikinase (PEPCK). Melalui mekanisme tersebut, zink berkontribusi dalam peningkatan metabolisme glukosa dan pengendalian kadar gula darah. Oleh karena itu, defisiensi zink dapat

menyebabkan gangguan metabolisme glukosa dan berpotensi berperan dalam perkembangan diabetes melitus (Ahmad *et al.*, 2024).

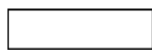


2.9 Kerangka Teori

Bagan 2.1 Kerangka Teori



Variabel yang diteliti



Variabel yang tidak diteliti

Sumber modifikasi: Adinda dan Luthfiyah,(2023);Daneshvar *et al.*,(2024) Jalili, Nazari dan Magkos,(2023); Purwandari *et al.*, (2024); Perkeni, (2024); Pham *et al* (2023); Tang and Li,(2021).

2.10 Hipotesis Penelitian

Ha : Ada hubungan frekuensi konsumsi pangan fermentasi dan asupan zat gizi dengan kadar gula darah penderita diabetes melitus tipe 2 di Puskesmas Sawah Lebar Kota Bengkulu.

H0 : Tidak ada hubungan frekuensi konsumsi pangan fermentasi dan asupan zat gizi dengan kadar gula darah penderita diabetes melitus tipe 2 di Puskesmas Sawah Lebar Kota Bengkulu.