

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Dasar Diabetes Mellitus

1. Definisi Diabetes Mellitus

Diabetes Mellitus (DM) didefinisikan sebagai gangguan metabolik kronis yang ditandai dengan hiperglikemia persisten akibat kelainan pada sekresi insulin, resistensi terhadap aksi insulin, atau kombinasi keduanya. Kondisi ini menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah yang menetap dan berisiko menimbulkan kerusakan pada berbagai organ jika tidak dikendalikan dengan baik (Yameny, 2024). Diabetes Mellitus adalah suatu kondisi kronis yang terjadi ketika tubuh tidak mampu memproduksi insulin dalam jumlah yang cukup atau tidak dapat menggunakan insulin secara efektif, sehingga menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah yang berlangsung terus menerus (*International Diabetes Federation*, 2025). Menurut Perkumpulan Endokrinologi Indonesia (PERKENI, 2021), adapun kategori tes laboratorium darah untuk diagnosis diabetes dan pre diabetes, yaitu sebagai berikut.

Tabel 1 Kategori Tes Laboratorium Darah untuk Diagnosis Diabetes dan Prediabetes

No	Kategori Diabetes Mellitus	HbA1c (%)	Glukosa Darah Puasa (mg/dL)	Glukosa Plasma 2 jam setelah TTGO (mg/dL)
1	Diabetes	$\geq 6,5$	≥ 126	≥ 200
2	Pre-diabetes	5,7 – 6,4	100-125	140-199
3	Normal	$< 5,7$	70-99	70-139

Berdasarkan uraian definisi diatas, dapat disimpulkan bahwa Diabetes Mellitus adalah penyakit metabolik kronis yang ditandai oleh peningkatan kadar glukosa darah secara menetap akibat gangguan produksi insulin, resistensi insulin, atau kombinasi keduanya. Kondisi ini terjadi karena tubuh tidak mampu menggunakan atau menghasilkan insulin secara efektif, sehingga kadar gula darah terus meningkat dalam jangka panjang. Apabila tidak dikelola dengan baik, DM dapat menimbulkan berbagai komplikasi serius pada organ tubuh, sehingga diperlukan diagnosis yang tepat melalui pemeriksaan laboratorium.

2. Klasifikasi Diabetes Mellitus

Menurut (*American Diabetes Association, 2024*) adapun klasifikasi dari diabetes melitus, sebagai berikut:

a. Diabetes Mellitus Tipe 1

Diabetes Melitus Tipe 1 terjadi akibat kerusakan sel beta pankreas yang menyebabkan tubuh mengalami kekurangan insulin secara absolut. Kerusakan ini umumnya disebabkan oleh proses autoimun, di mana sistem kekebalan tubuh menyerang sel beta pankreas. Selain itu, terdapat juga tipe idiopatik yang penyebab pastinya belum diketahui. Karena produksi insulin sangat rendah atau tidak ada sama sekali, penderita DM tipe 1 memerlukan terapi insulin secara terus-menerus.

b. Diabetes Mellitus Tipe 2

Diabetes Melitus Tipe 2 merupakan tipe yang paling banyak ditemukan. Kondisi ini ditandai oleh adanya resistensi insulin, yaitu berkurangnya respons sel tubuh terhadap insulin, yang disertai dengan penurunan kemampuan pankreas dalam menghasilkan insulin secara memadai. Pada tahap awal, pankreas masih mampu memproduksi insulin, namun lama-kelamaan fungsi sel beta mengalami

penurunan. DM tipe 2 sering dikaitkan dengan faktor risiko seperti obesitas, pola makan yang tidak sehat, kurang aktivitas fisik, serta faktor keturunan.

c. Diabetes Mellitus Gestasional

Diabetes Melitus gestasional adalah kondisi peningkatan kadar glukosa darah yang pertama kali terdeteksi saat kehamilan pada wanita yang sebelumnya tidak memiliki riwayat diabetes. Perubahan hormonal selama kehamilan dapat menyebabkan resistensi insulin. Meskipun kadar glukosa darah dapat kembali normal setelah persalinan, kondisi ini meningkatkan risiko terjadinya DM tipe 2 di masa mendatang.

d. Diabetes Mellitus Tipe Spesifik

Selain ketiga tipe utama tersebut, terdapat pula tipe Diabetes Mellitus spesifik lainnya yang berhubungan dengan etiologi tertentu. Tipe ini mencakup gangguan akibat kelainan genetik, seperti diabetes neonatal dan *Maturity Onset Diabetes of the Young* (MODY), penyakit pada pankreas eksokrin seperti pankreatitis dan fibrosis kistik, serta kondisi hiperglikemia yang diinduksi oleh penggunaan obat-obatan tertentu, misalnya glukokortikoid, maupun yang berkaitan dengan kondisi medis lainnya. Klasifikasi ini menunjukkan bahwa diabetes melitus memiliki spektrum etiologi yang luas, sehingga pendekatan diagnosis dan penatalaksanaannya perlu disesuaikan dengan faktor penyebab yang mendasarinya.

3. Penyebab Diabetes Mellitus

Diabetes Mellitus (DM) merupakan penyakit metabolik kronis yang ditandai dengan hiperglikemia akibat gangguan sekresi insulin, kerja insulin, atau keduanya. Secara etiologis, diabetes melitus bukanlah penyakit tunggal, tetapi kumpulan dari beberapa kelainan metabolik yang memiliki hasil akhir sama, yaitu

peningkatan kadar glukosa darah (*American Diabetes Association*, 2024). Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi diabetes, seperti:

a. Faktor Biologis

- 1) Riwayat keluarga dengan diabetes melitus
- 2) Usia lanjut dengan penurunan sensitivitas insulin dan penurunan massa otot
- 3) Obesitas visceral (lemak di perut) yang menyebabkan resistensi insulin
- 4) Riwayat hipertensi, dislipidemia, dan penyakit metabolik lainnya

b. Faktor Psikologis

- 1) Stress emosional kronis yang meningkatkan hormon kortisol, sehingga menghambat kerja insulin
- 2) Depresi dan kecemasan yang menurunkan motivasi untuk menjalani terapi, olahraga, dan diet sehat
- 3) Pola pikir negatif atau mekanisme koping yang maladaptif terhadap kondisi penyakit

c. Faktor sosial dan lingkungan

- 1) Pola makan yang tidak sehat akibat perubahan gaya hidup modern
- 2) Kurangnya aktivitas fisik karena keterbatasan lingkungan atau budaya
- 3) Dukungan keluarga yang rendah dalam pengelolaan diet dan kepatuhan minum obat
- 4) Status ekonomi rendah yang membatasi akses terhadap pelayanan kesehatan

4. Faktor Risiko Diabetes Mellitus

Berbagai penyakit bisa muncul dengan berbagai faktor risiko yang mempengaruhi. Berikut adalah faktor risiko dari diabetes melitus.

a. Usia

Peningkatan usia, khususnya ≥ 45 tahun, dikaitkan dengan meningkatnya risiko Diabetes Mellitus Tipe 2 (DMT2). Proses penuaan berhubungan dengan penurunan sensitivitas insulin serta gangguan fungsi sel β pankreas, sehingga meningkatkan kecenderungan terjadinya hiperglikemia kronis (*American Diabetes Association*, 2024).

b. Riwayat keluarga (faktor genetik)

Individu dengan riwayat keluarga diabetes, terutama pada orang tua atau saudara kandung, memiliki risiko lebih tinggi mengalami DMT2. Hal ini berkaitan dengan predisposisi genetik serta kesamaan pola hidup dan lingkungan keluarga (*International Diabetes Federation*, 2025).

c. Obesitas

Kelebihan berat badan, khususnya obesitas sentral yang ditandai dengan akumulasi lemak visceral di area abdomen, merupakan faktor risiko utama DMT2. Jaringan adiposa visceral menghasilkan mediator proinflamasi yang berkontribusi terhadap resistensi insulin dan gangguan metabolisme glukosa (WHO, 2024).

d. Kurangnya aktivitas fisik

Gaya hidup sedentari berperan dalam menurunkan sensitivitas insulin dan meningkatkan risiko obesitas. Kurangnya aktivitas fisik dalam jangka panjang berkaitan erat dengan gangguan regulasi glukosa dan peningkatan risiko Diabetes Mellitus Tipe 2 (DMT2) (WHO, 2024).

e. Hipertensi

Hipertensi sering ditemukan bersamaan dengan resistensi insulin dan merupakan bagian dari sindrom metabolik. Tekanan darah $\geq 140/90$ mmHg

dikaitkan dengan peningkatan risiko perkembangan DMT2 (*American Diabetes Association, 2024*).

f. Dislipidemia

Kelainan profil lipid, seperti kadar HDL yang rendah dan trigliserida yang tinggi, berhubungan dengan resistensi insulin dan meningkatkan kemungkinan terjadinya DMT2 (*American Diabetes Association, 2024*).

g. Riwayat Diabetes Gestasional

Perempuan dengan riwayat diabetes gestasional memiliki risiko yang lebih tinggi untuk mengalami DMT2 di kemudian hari akibat adanya gangguan regulasi insulin yang persisten pasca kehamilan (*International Diabetes Federation, 2025*).

h. Sindrom Ovarium Polikistik

Sindrom Ovarium Polikistik berkaitan dengan resistensi insulin kronis dan hiperinsulinemia, yang secara signifikan meningkatkan risiko perkembangan DMT2 (*American Diabetes Association, 2024*).

i. Prediabetes

Individu dengan gangguan toleransi glukosa atau kadar HbA1c dalam rentang prediabetes memiliki risiko progresi yang tinggi menjadi DMT2 apabila tidak dilakukan intervensi gaya hidup maupun terapi preventif (*American Diabetes Association, 2024*).

5. Patofisiologi DM

Diabetes melitus tipe 2 (DMT2) berkembang akibat interaksi kompleks antara faktor genetik, lingkungan, dan gaya hidup. Faktor-faktor seperti obesitas, kurang aktivitas fisik, pola makan tidak sehat, serta predisposisi genetik berperan dalam memicu resistensi insulin dan disfungsi sel β pankreas (*American Diabetes*

Association, 2024). Resistensi insulin merupakan kondisi ketika sel-sel tubuh terutama otot rangka, hati, dan jaringan adiposa tidak merespons insulin secara efektif. Akibatnya, terjadi penurunan pengambilan glukosa oleh jaringan perifer serta peningkatan produksi glukosa oleh hati melalui proses glukoneogenesis dan glikogenolisis. Kondisi ini menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah atau biasa dikenal dengan hiperglikemia (Petersen & Shulman, 2018).

Hiperglikemia merupakan kondisi peningkatan kadar glukosa darah di atas nilai normal yang salah satunya disebabkan oleh resistensi insulin. Resistensi insulin adalah keadaan di mana sel-sel tubuh, terutama otot rangka, jaringan adiposa, dan hati, mengalami penurunan sensitivitas terhadap kerja insulin, sehingga respons biologis terhadap insulin menjadi tidak optimal. Pada kondisi normal, insulin berperan dalam meningkatkan pengambilan glukosa oleh sel melalui aktivasi transporter glukosa (GLUT-4) serta menghambat produksi glukosa di hati. Namun, pada resistensi insulin, terjadi gangguan pada jalur transduksi sinyal insulin, sehingga menyebabkan penurunan translokasi GLUT-4 ke membran sel. Akibatnya, glukosa tidak dapat masuk ke dalam sel secara efektif dan tetap berada dalam sirkulasi darah, sehingga terjadi peningkatan kadar glukosa darah (Decroli et al., 2022).

Selain itu, resistensi insulin juga menyebabkan peningkatan produksi glukosa oleh hati melalui proses glukoneogenesis dan glikogenolisis yang tidak terhambat. Hati tetap memproduksi glukosa meskipun kadar glukosa darah sudah tinggi, sehingga memperburuk kondisi hiperglikemia. Pada jaringan adiposa, resistensi insulin memicu peningkatan lipolisis yang menyebabkan pelepasan asam lemak bebas ke dalam sirkulasi. Asam lemak bebas ini selanjutnya akan

mengganggu kerja insulin lebih lanjut dan meningkatkan produksi glukosa di hati. Kondisi ini menciptakan siklus yang memperparah resistensi insulin dan hiperglikemia (Iqbal et al., 2024).

Sebagai kompensasi, pankreas akan meningkatkan sekresi insulin (hiperinsulinemia) untuk mempertahankan kadar glukosa darah tetap normal. Namun, dalam jangka panjang, sel beta pankreas mengalami kelelahan dan disfungsi, sehingga produksi insulin menurun. Penurunan sekresi insulin yang disertai dengan resistensi insulin akan menyebabkan hiperglikemia yang menetap. Hiperglikemia kronis kemudian dapat menimbulkan berbagai komplikasi melalui mekanisme stres oksidatif, aktivasi jalur poliol, pembentukan *Advanced Glycation End-products* (AGEs), dan aktivasi protein kinase C yang berkontribusi terhadap kerusakan pembuluh darah (Manullang & Wiiedyaningsih, 2022).

6. Tanda dan Gejala Diabetes Mellitus

Menurut (*American Diabetes Association*, 2024) mengatakan bahwa ada beberapa gejala khas dari Diabetes Mellitus, antara lain:

a. Poliuria

Poliuria merupakan peningkatan jumlah dan frekuensi buang air kecil. Ini merupakan salah satu gejala klasik hiperglikemia karena glukosa darah yang tinggi melewati ambang ginjal dan ditarik ke dalam urine bersama air (*osmotic diuresis*).

b. Polidipsia

Polidipsia adalah rasa haus terus menerus meskipun sudah minum cukup. Ini terjadi karena banyak cairan hilang melalui urin (poliuria) yang menyebabkan dehidrasi dan otak memicu sensasi haus.

c. Polifagia

Polifagia adalah peningkatan nafsu makan yang tidak sebanding dengan energi yang diperoleh tubuh. Pada diabetes, sel-sel tubuh tidak mendapat glukosa yang cukup meskipun kadar gula darah tinggi, sehingga tubuh merasa “lapar” karena kurangnya energi di tingkat sel.

d. Penurunan Berat Badan

Penurunan berat badan yang terjadi tanpa adanya perubahan pola makan maupun aktivitas fisik, terutama pada Diabetes Mellitus tipe 1, juga dapat ditemukan pada Diabetes Mellitus Tipe 2 yang tidak terkontrol. Kondisi ini terjadi karena tubuh tidak mampu memanfaatkan glukosa secara optimal akibat defisiensi atau resistensi insulin, sehingga tubuh beralih menguraikan cadangan lemak dan protein (otot) sebagai sumber energi alternatif.

e. Penglihatan Kabur

Hiperglikemia dapat menyebabkan perubahan keseimbangan cairan pada lensa yang berdampak pada perubahan dan indeks refraksi lensa. Kondisi ini mengakibatkan gangguan fokus penglihatan sehingga pasien dapat mengalami penglihatan kabur. Gangguan tersebut umumnya bersifat sementara dan akan membaik seiring dengan normalisasi kadar glukosa darah.

f. Kelelahan

Pada Diabetes Mellitus, glukosa tidak dapat masuk ke dalam sel secara optimal untuk dimetabolisme menjadi energi. Kondisi ini menyebabkan sel mengalami kekurangan energi meskipun asupan nutrisi dan istirahat tercukupi. Akibatnya, individu tetap merasakan kelelahan atau lesu karena glukosa sebagai sumber energi utama tidak dapat dimanfaatkan secara efektif oleh tubuh.

g. Infeksi Berulang

Hiperglikemia kronis dapat menurunkan efektivitas respons sistem imun, sehingga individu dengan Diabetes Mellitus menjadi lebih rentan terhadap infeksi berulang. Jenis infeksi yang sering terjadi meliputi infeksi kulit, infeksi saluran kemih, serta infeksi jamur terutama kandidiasis.

h. Luka Sulit Sembuh

Hiperglikemia kronis berkontribusi terhadap penurunan fungsi sistem imun, terutama melalui gangguan aktivitas leukosit seperti kemotaksis, fagositosis, dan kemampuan membunuh mikroorganisme. Selain itu, kadar glukosa darah yang tinggi juga menyebabkan gangguan sirkulasi mikrovaskular akibat perubahan struktur dan fungsi pembuluh darah kecil, sehingga distribusi oksigen dan nutrisi ke jaringan menjadi tidak optimal. Kondisi ini diperburuk oleh adanya neuropati diabetik yang menurunkan sensitivitas terhadap rangsangan nyeri, sehingga luka sering tidak disadari dan terlambat mendapatkan penanganan.

Kombinasi dari faktor-faktor tersebut mengakibatkan proses penyembuhan luka menjadi terhambat, meningkatkan risiko terjadinya infeksi, serta memperbesar kemungkinan berkembangnya komplikasi kronis seperti ulkus diabetikum. Oleh karena itu, pengendalian kadar glukosa darah yang optimal serta perawatan luka yang adekuat menjadi aspek penting dalam mencegah perburukan kondisi pada pasien Diabetes Mellitus.

7. Pemeriksaan Penunjang Diabetes Mellitus

Pemeriksaan penunjang dilakukan untuk menegaskan diagnosis, memantau kontrol glikemik, serta mendeteksi dini komplikasi kronik pada pasien Diabetes

Mellitus. Pemeriksaan ini terbagi menjadi pemeriksaan utama dan tambahan (*American Diabetes Association, 2024*)

a. Pemeriksaan Glukosa Darah

- 1) Glukosa Darah Puasa (GDP) : dilakukan setelah puasa ≥ 8 jam. Nilai ≥ 126 mg/dL menunjukkan kemungkinan DM
- 2) Glukosa Darah 2 Jam Postprandial (GD2PP) : diukur 2 jam setelah makan. Nilai ≥ 200 mg/dL menandakan kontrol glukosa yang buruk
- 3) Glukosa Darah Sewaktu : bila ≥ 200 mg/dL disertai gejala klasik (poliuria, polidipsia, polifagia) dapat menegakkan diagnosis DM.

b. *Oral Glucose Tolerance Test* (OGTT)

Tes ini dilakukan dengan memberikan 75 gram glukosa anhidrat dalam 250–300 mL air dan diukur kadar glukosa 2 jam kemudian. Hasil ≥ 200 mg/dL menunjukkan DM. OGTT berguna untuk mendeteksi Toleransi Glukosa Terganggu (TGT) dan diabetes gestasional.

c. Hemoglobin A1c (HbA1c)

HbA1c menggambarkan kadar rata-rata glukosa darah 2–3 bulan terakhir. Nilai $\geq 6,5\%$ digunakan sebagai kriteria diagnosis DM. Pemeriksaan ini juga penting untuk menilai efektivitas terapi.

d. Pemeriksaan Fungsi Ginjal

DM dapat menyebabkan nefropati diabetik, sehingga diperlukan:

- 1) Kreatinin serum & *estimated Glomerular Filtration Rate* (eGFR) : menilai fungsi ginjal.
- 2) Rasio Albumin-Kreatinin Urine (UACR) : mendeteksi albuminuria; nilai ≥ 30 mg/g menunjukkan kerusakan ginjal dini.

- 3) Pemeriksaan fungsi ginjal dianjurkan dilakukan secara rutin minimal satu kali dalam setahun, terutama pada pasien Diabetes Mellitus. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mendeteksi secara dini adanya penurunan fungsi ginjal seperti nefropati diabetik, serta memantau perkembangan penyakit secara berkala.

e. Profil Lipid

Meliputi pemeriksaan kolesterol total, *High-Density Lipoprotein* (HDL), *Low-Density Lipoprotein* (LDL), dan trigliserida. Pasien DM sering mengalami dislipidemia aterogenik (trigliserida tinggi, HDL rendah) yang meningkatkan risiko kardiovaskular.

f. Pemeriksaan Fungsi Hati

Karena DM sering berhubungan dengan *Non-Alcoholic Fatty Liver Disease* (NAFLD), maka dilakukan pemeriksaan *Alanine Aminotransferase* (ALT), *Aspartate Aminotransferase* (AST), dan *Ultrasonografi* (USG) hati untuk mendeteksi perlemakan hati.

g. Pemeriksaan Mata (Retinopati Diabetik)

Dilakukan dengan funduskopi untuk mendeteksi perdarahan retina, mikroaneurisma, atau edema makula. Pemeriksaan direkomendasikan setiap 1 tahun sekali.

h. Pemeriksaan Saraf & Kaki

- 1) Monofilamen Test (10 g) merupakan pemeriksaan skrining yang digunakan untuk mendeteksi adanya neuropati perifer, khususnya pada pasien Diabetes Mellitus. Pemeriksaan ini dilakukan dengan menggunakan benang monofilamen bertekanan 10 gram yang diaplikasikan pada beberapa titik tertentu di telapak kaki untuk menilai sensasi protektif.

2) Ankle-Brachial Index (ABI) untuk menilai adanya *Peripheral Arterial Disease* (PAD); nilai ≤ 0.9 menunjukkan gangguan sirkulasi perifer.

i. *Continuous Glucose Monitoring* (CGM)

CGM merupakan teknologi untuk memantau kadar glukosa darah secara *real-time* selama 24 jam. Metode ini bermanfaat untuk menilai fluktuasi glukosa dan menyesuaikan terapi harian.

8. Penatalaksanaan Diabetes Mellitus

Penatalaksanaan DM dimulai dengan menerapkan pola hidup sehat (terapi nutrisi medis dan aktivitas fisik) bersamaan dengan intervensi farmakologis dengan obat anti hiperglikemia secara oral dan/atau suntikan. Obat anti hiperglikemia oral dapat diberikan sebagai terapi tunggal atau kombinasi. Pada keadaan emergensi dengan dekompensasi metabolik berat, misalnya ketoasidosis, stres berat, berat badan yang menurun dengan cepat, atau adanya ketonuria, harus segera rujuk ke pelayanan kesehatan sekunder atau tersier (PERKENI, 2021).

a. Edukasi

Edukasi yang bertujuan untuk mempromosikan gaya hidup sehat perlu dilakukan secara berkelanjutan sebagai upaya pencegahan, serta merupakan komponen esensial dalam pengelolaan Diabetes Mellitus secara holistik. Edukasi yang bisa diberikan seperti penyuluhan tentang penyakit diabetes melitus, edukasi pemeliharaan kesehatan kaki, perilaku hidup sehat (PERKENI, 2021).

b. Terapi Nutrisi Medis (TNM)

Terapi nutrisi medis merupakan bagian penting dari penatalaksanaan DM secara komprehensif. Kunci keberhasilannya adalah keterlibatan secara menyeluruh dari anggota tim dokter, ahli gizi, petugas kesehatan yang lain serta

pasien dan keluarganya. TNM sebaiknya diberikan sesuai dengan kebutuhan setiap pasien DM agar mencapai sasaran. Komposisi karbohidrat, protein, lemak, natrium, serat serta pemanis alternatif sangat diperhatikan untuk keberhasilan terapi (PERKENI, 2021).

c. Latihan Fisik

Latihan fisik merupakan salah satu pilar utama dalam pengelolaan Diabetes Mellitus Tipe 2. Pelaksanaan latihan fisik secara teratur terbukti berperan dalam meningkatkan sensitivitas insulin, membantu pengendalian kadar glukosa darah, serta menurunkan risiko komplikasi kardiovaskular.

Program latihan fisik dianjurkan sebanyak 3-5 hari per minggu dengan durasi sekitar 30-45 menit per sesi, sehingga mencapai total minimal 150 menit per minggu dengan intensitas sedang. Selain itu, penting untuk menghindari periode tidak aktif yang berkepanjangan, dengan tidak membiarkan jeda antar sesi latihan atau aktivitas fisik harian melebihi dua hari berturut-turut. Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga konsistensi aktivitas fisik dalam mendukung kontrol glikemik yang optimal (PERKENI, 2021).

d. Terapi Farmakologis

Terapi farmakologis diberikan bersama dengan pengaturan makan dan latihan jasmani (gaya hidup sehat). Terapi farmakologis terdiri dari obat oral dan bentuk suntikan (PERKENI, 2021).

1) Obat antihiperglikemia oral

- a) Pemacu sekresi insulin (*insulin secretagogue*), seperti sulfonilurea dan glinid
- b) Peningkat sensitivitas terhadap insulin (*insulin sensitizers*), seperti metformin dan tiazolidinedion (TZD)

- c) Penghambat alfa glukosidase
 - d) Penghambat enzim dipeptidil peptidase
 - e) Penghambat enzim sodium glucose co transporter
- 2) Obat antihiperglikemia suntik

Termasuk anti hiperglikemia suntik, yaitu insulin, GLP-1 RA dan kombinasi insulin dan GLP-1 RA

a) Insulin, digunakan pada keadaan:

- (1) HbA1c saat diperiksa $\geq 7,5\%$ dan sudah menggunakan satu dua obat antidiabetes
- (2) HbA1c saat diperiksa $> 9\%$
- (3) Penurunan berat badan yang cepat
- (4) Hiperglikemia berat yang disertai ketosis
- (5) Krisis hiperglikemia
- (6) Gagal dengan kombinasi OHO dosis optimal
- (7) Stres berat (infeksi sistemik, operasi besar, infark miokard akut, stroke)
- (8) Kehamilan dengan DM gestasional yang tidak terkontrol dengan pencernaan makan
- (9) Gangguan fungsi ginjal atau hati yang berat
- (10) Kontraindikasi dan atau alergi terhadap OHO
- (11) Kondisi perioperatif sesuai dengan indikasi

Berdasarkan lama kerja insulin terbagi menjadi 7 jenis menurut (PERKENI, 2021), yaitu:

- (1) Insulin kerja cepat (*rapid-acting insulin*)
- (2) Insulin kerja pendek (*short acting insulin*)

- (3) Insulin kerja menengah (*intermediate-acting insulin*)
- (4) Insulin kerja panjang (*long-acting insulin*)
- (5) Insulin kerja ultra panjang (*ultra long-acting insulin*)
- (6) Insulin campuran tetap, kerja pendek dengan menengah dan kerja cepat dengan menengah (*premixed insulin*)
- (7) Insulin campuran tetap, kerja ultra panjang dengan kerja cepat

Efek samping dari terapi insulin berupa terjadinya hipoglikemia dan reaksi alergi terhadap insulin.

B. Konsep Dasar Ketidakstabilan Kadar Glukosa Darah

1. Definisi Ketidakstabilan Kadar Glukosa Darah

Ketidakstabilan kadar glukosa darah diartikan sebagai variasi kadar glukosa darah naik/turun dari rentang normal (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017).

2. Penyebab Ketidakstabilan Kadar Glukosa Darah

Adapun penyebab dari ketidakstabilan kadar glukosa darah berdasarkan (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017) yaitu:

a. Disfungsi Pankreas

Disfungsi pankreas pada Diabetes Mellitus terutama melibatkan gangguan fungsi sel beta Langerhans dalam mensekresikan insulin. Menurut (*American Diabetes Association*, 2024) Diabetes terjadi akibat defisiensi insulin absolut (pada DM Tipe 1) atau defisiensi relatif akibat kegagalan progresif sel beta (pada DM Tipe 2). Pada Diabetes Mellitus Tipe 1 terjadi destruksi autoimun sel beta sehingga produksi insulin sangat rendah atau tidak ada sama sekali. Sedangkan pada Diabetes Mellitus Tipe 2, disfungsi sel beta berkembang secara progresif akibat stres

metabolik, glukotoksitas (paparan hiperglikemia kronik), lipotoksitas, serta inflamasi kronis derajat rendah (Khin et al., 2023).

b. Resistensi Insulin

Resistensi insulin adalah kondisi ketika jaringan perifer (otot rangka, hati, dan jaringan adiposa) mengalami penurunan respons terhadap insulin. Pada tahap awal, pankreas mengkompensasi dengan meningkatkan sekresi insulin (hiperinsulinemia). Namun, ketika kompensasi gagal, kadar glukosa menjadi tidak stabil dan berkembang menjadi hiperglikemia persisten (*American Diabetes Association*, 2024).

c. Gangguan Toleransi Glukosa Darah (*Impaired Glucose Tolerance/IGT*)

Gangguan toleransi glukosa merupakan bagian dari spektrum prediabetes ditandai dengan peningkatan kadar glukosa 2 jam setelah uji toleransi glukosa oral (TTGO), tetapi belum memenuhi kriteria diabetes (*American Diabetes Association*, 2024).

d. Gangguan Glukosa Darah Puasa (*Impaired Fasting Glucose/IFG*)

Gangguan glukosa darah puasa ditandai dengan peningkatan kadar glukosa plasma puasa di atas normal, tetapi belum memenuhi kriteria diabetes (*American Diabetes Association*, 2024).

3. Tanda dan Gejala Ketidakstabilan Kadar Glukosa Darah

Menurut (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017) ada gejala dan tanda mayor serta minor untuk ketidakstabilan kadar glukosa darah bagian hiperglikemia yaitu sebagai berikut.

Tabel 2 Gejala dan Tanda Hiperglikemia Darah Menurut SDKI

No	Gejala dan Tanda Mayor	Gejala dan Tanda Minor
1	Subjektif: 1. Lelah atau lesu	Subjektif: 1. Mulut kering 2. Haus meningkat
2	Objektif: 1. Kadar glukosa dalam darah/urin tinggi	Objektif: 1. Jumlah urin meningkat

4. Penatalaksanaan Ketidakstabilan Kadar Glukosa Darah

Dalam menangani permasalahan ketidakstabilan kadar glukosa darah menurut (Tim Pokja SIKI DPP PPNI, 2017), penatalaksanaannya meliputi dua intervensi utama dan dua puluh lima intervensi pendukung. Intervensi utama meliputi manajemen hiperglikemia dan manajemen hipoglikemia. Serta intervensi utama yang penulis cantumkan dibawah adalah manajemen hiperglikemia dan intervensi pendukungnya adalah edukasi diet serta dukungan kepatuhan program pengobatan.

a. Manajemen Hiperglikemia (I.03115)

1) Observasi

- a) Identifikasi kemungkinan penyebab hiperglikemia
- b) Identifikasi situasi yang menyebabkan kebutuhan insulin meningkat (mis. penyakit kambuhan)
- c) Monitor kadar glukosa darah, jika perlu
- d) Monitor tanda dan gejala hiperglikemia (mis.poliuria, pilidipsia, polifagia, kelemahan. malase, pandangan kabur, dan output cairan)
- e) Monitor intake dan output cairan

- f) Monitor keton urin, kadar analisa gas darah, elektrolit, tekanan darah ortostatik dan frekuensi nadi

2) Terapeutik

- a) Berikan asupan cairan oral
- b) Konsultasi dengan medis jika tanda gejala hiperglikemia tetap ada atau memburuk
- c) Fasilitasi ambulansi jika hipotensi ortostatik

3) Edukasi

- a) Anjurkan menghindari olahraga saat kadar glukosa darah lebih dari 250 mgdL
- b) Anjurkan monitor kadar glukosa darah secara mandiri
- c) Anjurkan kepatuhan terhadap diet dan olahraga
- d) Ajarkan indikasi dan pentingnya pengujian keton urine, jika perlu
- e) Ajarkan pengelolaan diabetes (mis. penggunaan insulin, obat oral, monitor asupan cairan penggantian karbohidrat dan bantuan professional kesehatan)

4) Kolaborasi

- a) Kolaborasi pemberian insulin, jika perlu
- b) Kolaborasi pemberian cairan IV, jika perlu
- c) Kolaborasi pemberian kalium, jika perlu

b. Edukasi Diet (I. 12369)

1) Observasi

- a) Identifikasi kemampuan pasien dan keluarga menerima informasi
- b) Identifikasi tingkat pengetahuan pasien saat ini
- c) Identifikasi kebiasaan pola makan saat ini dan masa lalu

- d) Identifikasi persepsi pasien dan keluarga tentang diet yang diprogramkan
- e) Identifikasi keterbatasan finansial untuk menyediakan makanan
- 2) Terapeutik
 - a) Persiapkan materi, media dan alat peraga
 - b) Jadwalkan waktu yang tepat untuk memberikan pendidikan kesehatan
 - c) Berikan kesempatan pasien dan keluarga bertanya
 - d) Sediakan rencana makan tertulis, jika perlu
- 3) Edukasi
 - a) Jelaskan tujuan kepatuhan diet terhadap kesehatan
 - b) Informasikan makanan yang diperbolehkan dan dilarang
 - c) Informasikan kemungkinan interaksi obat dan makanan, jika perlu
 - d) Anjurkan mempertahankan posisi semi fowler (30-45 derajat) 20-30 menit setelah makan
 - e) Anjurkan mengganti bahan makanan yang sesuai dengan diet yang diprogramkan
 - f) Anjurkan melakukan olahraga sesuai toleransi
 - g) Ajarkan cara membaca label dan memilih makanan yang sesuai
 - h) Ajarkan cara merencanakan makanan yang sesuai program
 - i) Rekomendasikan resep makanan yang sesuai dengan diet, jika perlu
- 4) Kolaborasi
 - a) Rujuk ke ahli gizi dan sertakan keluarga, jika perlu
- c. Dukungan Kepatuhan Program Pengobatan (I.12361)
 - 1) Observasi
 - a) Identifikasi kepatuhan menjalani program pengobatan

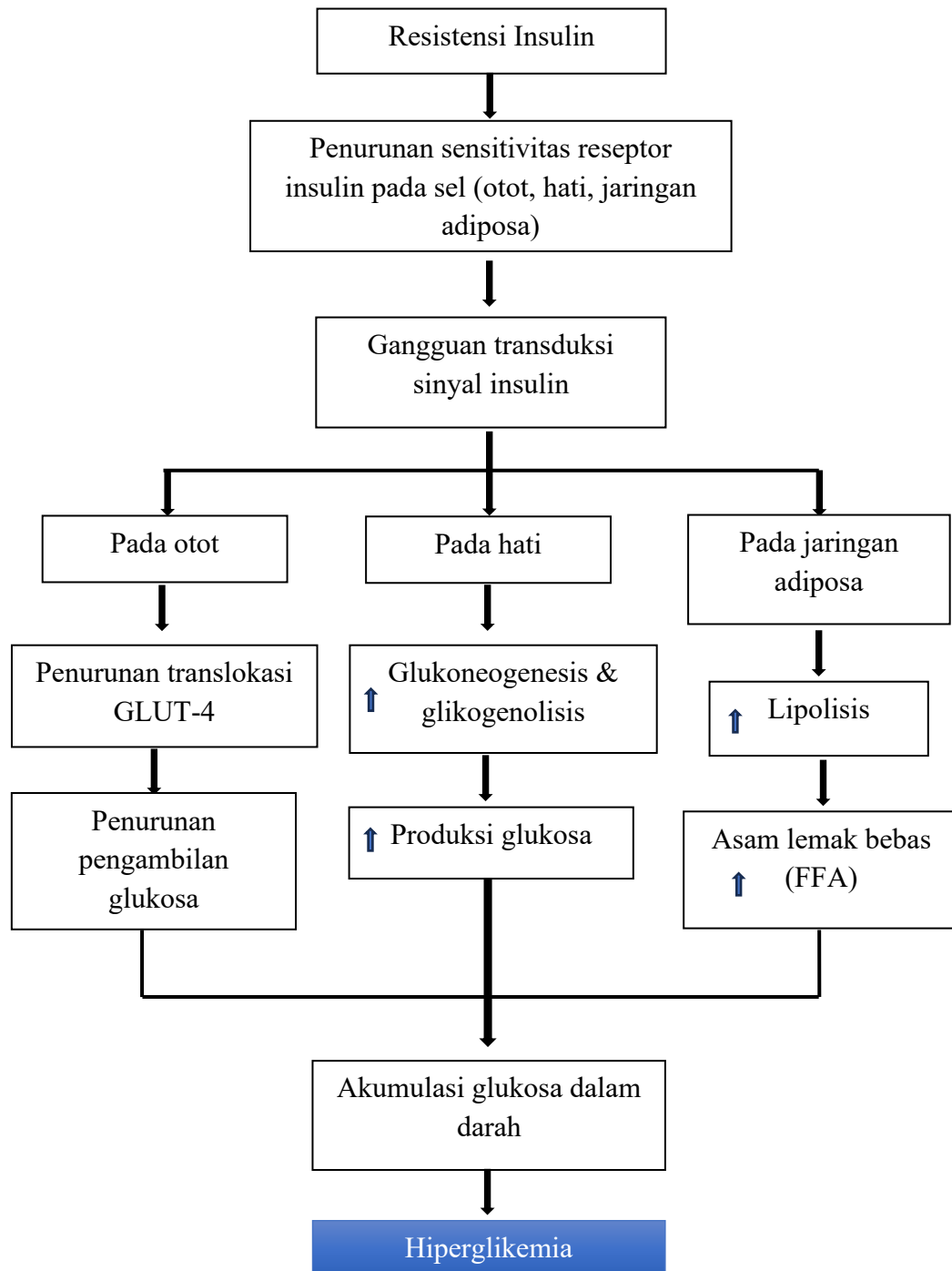
2) Terapeutik

- a) Buat komitmen menjalani program pengobatan dengan baik
- b) Buat jadwal pendampingan keluarga untuk bergantian menemani pasien selama menjalani program pengobatan, jika perlu
- c) Dokumentasikan aktivitas selama menjalani proses pengobatan
- d) Diskusikan hal-hal yang dapat mendukung atau menghambat berjalannya program pengobatan
- e) Libatkan keluarga untuk mendukung program pengobatan yang dijalani

3) Edukasi

- a) Informasikan program pengobatan yang harus dijalani
- b) Informasikan manfaat yang akan diperoleh jika teratur menjalani program pengobatan
- c) Anjurkan keluarga untuk mendampingi dan merawat pasien selama menjalani program pengobatan
- d) Anjurkan pasien dan keluarga melakukan konsultasi ke pelayanan kesehatan terdekat, jika perlu

C. Problem Tree



Gambar 1. *Problem Tree* Hiperglikemia

D. Konsep Dasar Asuhan Keperawatan

1. Pengkajian

Pengkajian merupakan tahap pertama dalam proses keperawatan yang dilakukan secara sistematis melalui pengumpulan data dari berbagai sumber guna menilai dan mengidentifikasi status kesehatan klien. Pada tahap ini, seluruh informasi yang relevan dihimpun secara terstruktur untuk menentukan kondisi kesehatan secara menyeluruh. Pengkajian dilaksanakan secara komprehensif dengan mempertimbangkan aspek biologis, psikologis, sosial, dan spiritual klien sebagai kesatuan yang saling berkaitan (Tampubolon, 2022). Pada bagian pengkajian keperawatan, memuat tentang:

a. Identitas

1) Identitas pasien

Identitas pasien berisikan nama, jenis kelamin, alamat, umur, status, agama, pendidikan, pekerjaan, tanggal lahir, nomor rekam medis, serta diagnosa medis.

2) Identitas penanggungjawab

Identitas penanggungjawab berisikan nama, alamat, tanggal lahir, status, agama, jenis kelamin, pendidikan, pekerjaan serta hubungan dengan pasien.

b. Keluhan Utama

Keluhan utama merupakan keluhan yang dirasa paling mengganggu oleh pasien pada saat pengkajian. Keluhan yang biasanya muncul pada pasien dengan ketidakstabilan kadar glukosa darah adalah lemas, pusing, mengeluh lapar, palpitasi (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017).

c. Riwayat kesehatan

1) Riwayat kesehatan sekarang

Riwayat kesehatan sekarang merupakan gambaran kondisi kesehatan pasien yang sedang dialami saat ini. Bagian ini berisi keluhan utama yang dirasakan pasien, seperti nyeri, lemas, sesak atau gejala lainnya. Selain itu, dijelaskan juga perjalanan penyakit mulai dari awal munculnya keluhan (onset), lamanya keluhan (durasi), faktor yang memperberat atau mengurangi gejala, serta tindakan yang sudah dilakukan pasien untuk mengatasi keluhan tersebut. Riwayat kesehatan sekarang mencakup alasan pasien mencari pelayanan kesehatan dan deskripsi lengkap mengenai gejala yang dialami, termasuk waktu muncul, lokasi, karakteristik, serta tingkat keparahan.

2) Riwayat kesehatan dahulu

Riwayat kesehatan dahulu merupakan informasi mengenai kondisi kesehatan pasien di masa sebelumnya. Hal ini meliputi riwayat penyakit yang pernah di derita baik penyakit akut maupun kronis, riwayat rawat inap, tindakan operasi, alergi terhadap obat atau makanan, serta penggunaan obat-obatan sebelumnya. Riwayat kesehatan dahulu penting untuk mengetahui faktor predisposisi yang dapat memengaruhi kondisi kesehatan pasien saat ini, serta membantu dalam menentukan diagnosis dan rencana tindakan keperawatan.

d. Riwayat Kesehatan Keluarga

Riwayat kesehatan keluarga adalah informasi mengenai kondisi kesehatan anggota keluarga, terutama yang memiliki hubungan darah dengan pasien. Data ini digunakan untuk mengidentifikasi adanya penyakit yang bersifat genetik atau diturunkan, seperti diabetes mellitus, hipertensi, penyakit jantung dan lainnya. Riwayat kesehatan keluarga membantu tenaga kesehatan dalam menilai risiko penyakit yang mungkin dialami pasien berdasarkan faktor keturunan.

e. Pola Kebutuhan Dasar

Sesuai buku SDKI (Standar Diagnosis keperawatan Indonesia) pada pola kebutuhan dasar manusia kategori fisiologis dengan subkategori aktivitas dan istirahat dengan diagnosis ketidakstabilan kadar glukosa darah (hiperglikemia) dengan kode D.0027 terdapat 2 data mayor dan 3 data minor yang perlu dikaji, yaitu sebagai berikut (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017).

- 1) Tanyakan apakah pasien merasa lelah atau lesu?
- 2) Observasi apakah kadar glukosa dalam darah/urin pasien tinggi?
- 3) Lihat apakah mulut pasien kering?
- 4) Tanya apakah rasa haus pasien meningkat?
- 5) Observasi apakah jumlah urin pasien meningkat?

2. Diagnosis Keperawatan

a. Definisi Diagnosis

Diagnosis keperawatan merupakan suatu penilaian klinis mengenai respons klien terhadap masalah kesehatan atau proses kehidupan yang dialaminya baik yang berlangsung aktual maupun potensial. Diagnosis keperawatan bertujuan untuk mengidentifikasi respons klien individu, keluarga dan komunitas terhadap situasi yang berkaitan dengan kesehatan (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017).

b. Jenis Diagnosis

Berdasarkan buku Standar Diagnosis Keperawatan Indonesia tahun 2017, diagnosis keperawatan dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- 1) Diagnosis negatif, menunjukkan klien dalam kondisi sakit atau berisiko mengalami sakit sehingga penegakan diagnosis ini akan mengarahkan pemberian intervensi keperawatan yang bersifat penyembuhan, pemulihan dan

pencegahan (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017). Diagnosis ini terdiri dari diagnosis aktual dan diagnosis risiko.

- 2) Diagnosis positif, menunjukkan klien dalam kondisi sehat dan dapat mencapai kondisi yang lebih sehat atau optimal. Diagnosis ini disebut dengan diagnosis promosi kesehatan (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017).

Jenis-jenis diagnosis keperawatan tersebut diuraikan sebagai berikut.

- 1) Diagnosis aktual

Diagnosis aktual merupakan gambaran respon klien terhadap kondisi kesehatan atau proses kehidupannya yang menyebabkan klien mengalami masalah kesehatan. Tanda/gejala mayor dan minor dapat ditemukan dan divalidasi pada klien (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017).

- 2) Diagnosis risiko

Diagnosis risiko menggambarkan respon klien terhadap kondisi kesehatan atau proses kehidupannya yang dapat menyebabkan klien berisiko mengalami masalah kesehatan. Pada diagnosis ini tidak ditemukan tanda/gejala mayor dan minor pada klien, namun klien memiliki faktor risiko mengalami masalah kesehatan (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017).

- 3) Diagnosis promosi kesehatan

Diagnosis promosi kesehatan menggambarkan adanya keinginan dan motivasi klien untuk meningkatkan kondisi kesehatannya ke tingkat yang lebih baik atau optimal (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017).

c. Komponen Diagnosis

Diagnosis keperawatan memiliki dua komponen utama, yaitu:

- 1) Masalah (*problem*)

Masalah adalah label diagnosis keperawatan yang menggambarkan inti dari respon klien terhadap kondisi kesehatan atau proses kehidupannya. Label diagnosis terdiri atas deskriptor dan fokus diagnostik (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017).

2) Indikator diagnostik

a) Penyebab (*etiology*), merupakan faktor-faktor yang memengaruhi perubahan status kesehatan. Etiologi dapat mencakup empat kategori, yaitu:

- (1) Fisiologis, biologis atau psikologis
- (2) Efek terapi/tindakan
- (3) Situasional (lingkungan atau personal)
- (4) Maturasional

b) Tanda (*sign*) dan gejala (*symptom*)

Tanda merupakan data objektif yang diperoleh dari hasil pemeriksaan fisik, pemeriksaan laboratorium dan prosedur diagnostik sedangkan gejala merupakan data subjektif yang didapatkan dari hasil anamnesis (Tim Pokja SDKI DPP PPNI, 2017). Tanda/gejala dikelompokkan menjadi dua kategori:

- (1) Mayor: tanda/gejala ditemukan sekitar 80%-100% untuk validasi diagnosis.
- (2) Minor: tanda/gejala tidak harus ditemukan namun jika ditemukan dapat mendukung penegakan diagnosis.

c) Faktor risiko

Faktor risiko merupakan kondisi atau sitasi yang dapat meningkatkan kerentanan klien mengalami masalah kesehatan.

3. Rencana keperawatan

a. Komponen Intervensi Keperawatan

Setiap intervensi keperawatan pada standar ini terdiri atas tiga komponen yaitu label, definisi dan tindakan dengan uraian sebagai berikut.

1) Label

Komponen ini merupakan nama dari intervensi keperawatan yang merupakan kata kunci untuk memperoleh informasi terkait intervensi keperawatan tersebut. Label intervensi keperawatan terdiri atas satu atau beberapa kata yang diawali dengan kata benda (nomina), bukan kata kerja (verba), yang berfungsi sebagai deskriptor atau penjelas dari intervensi keperawatan (Tim Pokja SIKI DPP PPNI, 2017).

2) Definisi

Komponen ini menjelaskan tentang makna dari label intervensi keperawatan. Definisi label intervensi keperawatan diawali dengan kata kerja (verba) berupa perilaku yang dilakukan oleh perawat, bukan perilaku pasien (Tim Pokja SIKI DPP PPNI, 2017).

3) Tindakan

Komponen ini merupakan rangkaian perilaku atau aktivitas yang dikerjakan oleh perawat untuk mengimplementasikan intervensi keperawatan. Tindakan-tindakan pada intervensi keperawatan terdiri atas observasi, terapeutik, edukasi dan kolaborasi.

a. Komponen Luaran Keperawatan

Luaran keperawatan memiliki tiga komponen utama yaitu label dan ekspektasi dan kriteria hasil (Tim Pokja SLKI DPP PPNI, 2017). Masing-masing komponen diuraikan sebagai berikut.

1) Label

Komponen ini merupakan nama dari luaran keperawatan yang terdiri atas kata kunci untuk memperoleh informasi terkait luaran keperawatan. Label luaran keperawatan merupakan kondisi, perilaku atau persepsi pasien yang dapat diubah atau diatasi dengan intervensi keperawatan (Tim Pokja SLKI DPP PPNI, 2017).

2) Ekspektasi

Ekspektasi merupakan penilaian terhadap hasil yang diharapkan tercapai. Ekspektasi menggambarkan seperti apa kondisi, perilaku atau persepsi pasien akan berubah setelah diberikan intervensi keperawatan. Terdapat tiga kemungkinan ekspektasi yang diharapkan perawat yaitu sebagai berikut.

Tabel 3 Kemungkinan Ekspektasi yang Diharapkan

No	Ekspektasi	Definisi
1	Meningkat	Bertambah secara ukuran, jumlah, derajat atau tingkatan
2	Menurun	Berkurang dalam ukuran, jumlah, derajat atau tingkatan
3	Membaik	Menimbulkan efek yang lebih baik, adekuat atau efektif

3) Kriteria hasil

Kriteria hasil merupakan karakteristik atau respons pasien yang dapat diamati dan diukur oleh perawat, digunakan sebagai dasar dalam menilai tingkat pencapaian hasil dari intervensi keperawatan yang telah diberikan. Kriteria hasil juga dapat disebut sebagai indikator karena menggambarkan perubahan-perubahan yang ingin dicapai setelah pemberian intervensi keperawatan.

4. Implementasi

Intervensi keperawatan diharapkan dapat mengatasi etiologi atau tanda/gejala diagnosis keperawatan. Jika etiologi tidak dapat secara langsung diatasi, maka intervensi keperawatan diarahkan untuk menangani tanda/gejala diagnosis keperawatan. Untuk diagnosis risiko, intervensi keperawatan diarahkan untuk mengeliminasi faktor risiko.

Implementasi merupakan suatu tindakan yang dikerjakan perawat berdasarkan intervensi yang telah ditetapkan bertujuan untuk mengatasi masalah keperawatan. Tindakan keperawatan adalah perilaku atau aktivitas spesifik yang dikerjakan oleh perawat untuk mengimplementasikan intervensi keperawatan diantaranya observasi, terapeutik, edukasi dan kolaborasi (Tim Pokja SIKI DPP PPNI, 2017).

Tindakan yang terlibat dalam rencana asuhan keperawatan meliputi pemantauan pasien untuk tanda-tanda perubahan atau perbaikan, langsung merawat pasien atau melakukan tugas medis yang diperlukan, mendidik dan menginstruksikan pasien tentang manajemen kesehatan lebih lanjut, dan merujuk atau menghubungi pasien untuk tindak lanjut.

5. Evaluasi

Evaluasi mengacu kepada penilaian, tahapan dan perbaikan. Evaluasi adalah aktivitas yang direncanakan, berkelanjutan, dan terarah ketika pasien dan profesional kesehatan menentukan kemajuan pasien menuju pencapaian tujuan/hasil dan keefektifan rencana asuhan keperawatan. Evaluasi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu evaluasi formatif dan evaluasi sumatif. Evaluasi formatif dilakukan segera setelah perawat mengimplementasikan rencana keperawatan untuk menilai keefektifan tindakan keperawatan. Sedangkan evaluasi sumatif adalah evaluasi yang dilakukan setelah semua tindakan dalam proses keperawatan selesai dilakukan.

Evaluasi terdiri dari SOAP yaitu *Subjective Data*, *Objective Data*, *Assessment*, dan *Planning*, yakni:

- a. *Subjective* merupakan data yang diperoleh dari keluhan atau pernyataan pasien setelah dilakukan tindakan keperawatan. Data ini mencerminkan persepsi, perasaan dan pengalaman pasien terhadap kondisi kesehatannya. Menurut literatur keperawatan, data subjektif berasal dari hasil anamnesis yang disampaikan langsung oleh pasien atau keluarga mengenai kondisi yang dirasakan. Selain itu, data subjektif juga digunakan untuk menilai respons pasien terhadap intervensi yang telah diberikan.
- b. *Objective* merupakan data yang diperoleh dari hasil observasi, pemeriksaan fisik, serta pemeriksaan penunjang yang dilakukan oleh perawat. Data-data disini bersifat faktual dann digunakan untuk mendukung atau megklarifikasi data subjektif.

- c. *Assessment* merupakan hasil analisis dari data subjektif dan objektif yang digunakan untuk menilai untuk status masalah keperawatan pasien. Dalam teori keperawatan, *assessment* berisi kesimpulan apakah masalah pasien teratasi, teratasi sebagian atau bahkan belum teratasi. Penentuan ini dilakukan dengan membandingkan kondisi pasien dengan kriteria hasil yang telah ditetapkan sebelumnya. Selain itu *assessment* juga mencerminkan perkembangan diagnosis keperawatan berdasarkan respon pasien terhadap intervensi.
- d. *Planning* merupakan rencana tindak lanjut berdasarkan hasil *assessment* yang telah dilakukan. Menurut konsep SOAP, perencanaan dapat berupa:
- 1) Melanjutkan intervensi jika masalah belum atau sebagian teratasi
 - 2) Memodifikasi intervensi jika diperlukan penyesuaian
 - 3) Menghentikan intervensi jika masalah sudah teratasi

Perencanaan ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas asuhan keperawatan serta mencapai kondisi kesehatan pasien yang optimal.