

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Diabetes Melitus (DM)

Diabetes Melitus (DM) adalah penyakit metabolik kronis yang dicirikan oleh tingginya kadar glukosa darah akibat masalah dalam sekresi insulin, fungsi insulin, atau keduanya. Komplikasi jangka panjang dari DM meliputi neuropati perifer, angiopati, dan gangguan penyembuhan luka yang dapat menyebabkan ulkus pada kaki diabetik. Ulkus kaki diabetik adalah salah satu komplikasi serius yang muncul karena kombinasi neuropati, gangguan sirkulasi dan infeksi. Ulkus ini sering kali menjadi jalan masuk bagi infeksi (Adi, 2019).

B. Klasifikasi dan Tipe-Tipe Diabetes Melitus

Berdasarkan klasifikasi yang diadopsi dalam banyak artikel ilmiah dan jurnal kesehatan di Indonesia, Diabetes Melitus dibagi menjadi beberapa tipe utama berikut:

1. Diabetes Melitus Tipe 1

Diabetes Melitus tipe 1 adalah jenis diabetes yang terjadi akibat kerusakan sel beta pada pankreas yang bertanggung jawab untuk menghasilkan insulin, umumnya disebabkan oleh reaksi autoimun. Sebagai konsekuensinya, tubuh tidak dapat memproduksi insulin baik sepenuhnya maupun dalam jumlah yang cukup, sehingga individu yang menderita kondisi ini perlu mendapatkan insulin dari sumber eksternal secara terus-menerus untuk menjaga level glukosa dalam darah. Jenis diabetes ini biasanya dialami oleh anak-anak, remaja, atau individu yang masih muda (R & Yulianti, 2022)

2. Diabetes Melitus Tipe 2

Diabetes Melitus tipe 2 adalah varian diabetes yang paling sering dijumpai, yang timbul akibat ketahanan terhadap insulin dan/atau penurunan produksi insulin yang dihasilkan oleh sel beta pankreas. Dalam tipe ini, meskipun tubuh tetap dapat memproduksi insulin, penggunaannya oleh sel-sel tubuh tidak efektif. Beberapa faktor yang meningkatkan risiko terjadinya tipe 2 meliputi obesitas, penuaan, pola makan yang buruk, kurangnya aktivitas fisik, serta faktor keturunan. Penanganannya umumnya mencakup modifikasi gaya hidup,

penggunaan obat-obatan antidiabetes, dan kadang-kadang pemberian insulin jika diperlukan (R & Yulianti, 2022).

3. Diabetes Melitus Gestasional

Diabetes melitus Gestasional adalah jenis diabetes yang terdeteksi atau terdiagnosis untuk pertama kalinya selama periode kehamilan. Situasi ini muncul akibat perubahan hormon yang dapat mempengaruhi efektivitas kerja insulin, sehingga menyebabkan peningkatan kadar gula darah pada ibu yang hamil. Walaupun biasanya membaik setelah melahirkan, diabetes gestasional dapat meningkatkan kemungkinan munculnya diabetes tipe 2 di kemudian hari setelah kehamilan (Bhavadharini *et al.*, 2024).

4. Tipe Diabetes Lainnya

Selain dari tiga jenis utama yang disebutkan sebelumnya, ada juga tipe lain yang lebih sedikit dijumpai, misalnya diabetes yang disebabkan oleh kelainan genetik, penyakit pankreas primer, masalah hormonal, atau konsumsi obat tertentu. Tipe-tipe ini dianggap sebagai kategori diabetes yang lebih spesifik atau diabetes sekunder dan biasanya ditentukan berdasarkan diagnosis medis yang khusus (Hani *et al.*, 2023).

C. Ulkus Diabetikum

Ulkus diabetik, atau yang dikenal sebagai diabetic foot ulcer, adalah luka terbuka atau ulkus pada kulit serta jaringan di bawahnya, terutama di area kaki, yang muncul sebagai akibat dari komplikasi jangka panjang Diabetes Melitus. Hal ini disebabkan oleh permasalahan pada saraf perifer (neuropati), gangguan aliran darah (insufisiensi vaskular), dan luka yang tidak kunjung sembuh (luka kronis yang tidak sembuh). Ulkus ini muncul dari kombinasi faktor utama seperti neuropati yang mengakibatkan hilangnya kemampuan merasakan, masalah sirkulasi darah yang menghalangi proses penyembuhan jaringan, serta infeksi tambahan yang memperburuk kerusakan jaringan pada individu dengan diabetes yang tidak dapat mengatur kadar gula darahnya dengan baik (Rosyid, 2017).

Penelitian klinis di jurnal kesehatan Indonesia menunjukkan bahwa ulkus diabetikum adalah jenis luka yang muncul akibat makroangiopati dan mikroangiopati pada individu dengan Diabetes Melitus. Kondisi ini terkait dengan kerusakan pada saraf dan pembuluh darah, yang menyebabkan luka menjadi sulit

untuk sembuh dan berpotensi mengalami infeksi serius jika tidak ditangani dengan baik. Luka ini bisa menyangkut kulit hingga ke lapisan jaringan yang lebih dalam dan dapat berujung pada amputasi dalam kasus yang ekstrem (Moulidiya, 2025). Dalam studi yang berbeda, ulkus pada penderita diabetes dijelaskan sebagai luka yang timbul akibat adanya kelainan pada sistem saraf dan pembuluh darah perifer pada individu yang memiliki Diabetes Melitus. Jika tidak mendapatkan penanganan yang tepat, kondisi ini bisa menimbulkan kerusakan parah pada jaringan kulit serta infeksi yang berulang (Roza *et al.*, 2015).

D. Infeksi Pada Ulkus Diabetikum

Infeksi yang terjadi pada ulkus diabetikum adalah situasi di mana luka yang sudah berlangsung lama pada individu dengan Diabetes Melitus terinfeksi dan berkembang menjadi infeksi akibat mikroorganisme. Tanda-tanda dari kondisi ini meliputi peradangan, nanah, bau busuk, rasa sakit, dan lambatnya proses penyembuhan luka. Terjadinya infeksi ini disebabkan oleh gabungan dari hiperglikemia yang berlangsung lama, penurunan sistem imun, neuropati, serta masalah pada pembuluh darah perifer, sehingga menciptakan kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme di area luka (Roza *et al.*, 2015)

Infeksi yang terjadi pada luka ulkus diabetikum merupakan masalah yang serius, dapat memperburuk keadaan luka serta meningkatkan kemungkinan amputasi. Devi *et al.* (2022) mengungkapkan bahwa infeksi pada ulkus diabetikum bersifat kompleks, melibatkan keberadaan bakteri dan jamur secara bersamaan. Selama ini, pengujian di laboratorium lebih banyak difokuskan pada bakteri, sehingga seringkali infeksi jamur tidak mendapat perhatian yang cukup.

Identifikasi mikroorganisme pada infeksi luka sangat krusial untuk memahami jenis mikroba yang menjadi penyebab infeksi, yang selanjutnya akan mendukung pemilihan terapi yang tepat. Analisis di laboratorium bisa dilakukan dengan menggunakan teknik kultur, pengamatan morfologi koloni, pemeriksaan mikroskopis, dan juga tes biokimia. Proses identifikasi mikroorganisme dilakukan dengan menumbuhkan sampel pada media khusus dan mengamati sifat-sifat dari pertumbuhan koloni yang terbentuk (T. R. Sari *et al.*, 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh Balaji *et al.* (2024) menemukan bahwa jamur terdeteksi pada sekitar 20–30% kasus ulkus diabetikum, terutama pada luka kronis

yang tidak menunjukkan perbaikan meskipun telah diberikan pengobatan antibiotik. Hasil ini menunjukkan bahwa keberadaan jamur memiliki kontribusi yang penting dalam memperlambat proses penyembuhan luka pada pasien diabetikum.

E. Jamur Pada Ulkus Diabetikum

Jamur adalah mikroorganisme yang berperan dalam infeksi pada ulkus diabetikum, terkhusus bagi luka kronis yang tidak mengalami perbaikan meskipun telah mendapatkan terapi antibiotik. Adanya jamur pada ulkus diabetikum terkait dengan kondisi hiperglikemia yang berkepanjangan, tingkat kelembapan luka yang tinggi, gangguan sistem imun, serta penggunaan antibiotik yang berlangsung lama, yang menciptakan kondisi yang ideal bagi perkembangan jamur (Devasia *et al.*, 2022). Infeksi jamur pada ulkus diabetikum sering kali bersifat oportunistik dan dapat menghambat proses penyembuhan luka.

Beberapa studi mengungkapkan bahwa jenis jamur yang paling umum diambil dari ulkus diabetes adalah *Candida spp.*, khususnya *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, dan *Candida glabrata*. Jamur-jamur ini biasanya ditemukan pada ulkus yang kronis dan dalam, serta sering terhubung dengan infeksi polimikroba berbarengan dengan bakteri patogen (Devasia *et al.*, 2022). Kehadiran *Candida spp.* dapat meningkatkan peradangan di area lokal dan membentuk biofilm, menjadikan penyembuhan luka jauh lebih sulit.

F. Genus Candida Pada Ulkus Diabetikum

Jamur yang paling umum dilaporkan pada luka diabetes adalah fungi dari genus *Candida*. *Candida* adalah sejenis ragi yang biasanya ditemukan sebagai flora normal pada permukaan kulit dan jaringan mukosa manusia. Namun, dalam kondisi tertentu seperti kadar gula yang tinggi dan keadaan imun yang menurun, *Candida* dapat bertransformasi dari bentuk saprofit menjadi patogen oportunistik.

Spesies *Candida* yang paling sering ditemui pada luka diabetes adalah *Candida albicans*. Jamur ini memiliki kemampuan untuk melekat yang sangat baik pada jaringan epitel dan mampu membentuk biofilm, sehingga lebih tahan terhadap respons imun tubuh dan pengobatan antimikroba. Penelitian oleh Hartika *et al.* (2021) menunjukkan bahwa *Candida albicans* adalah spesies yang paling banyak

diisolasi dari luka diabetes kelas III dan IV berdasarkan klasifikasi Wagner. Koloni *Candida albicans* yang tumbuh di media Potato Dextrose Agar (PDA) atau Sabouraud Dextrose Agar (SDA) berwarna putih hingga krem, berbentuk bulat, serta memiliki tekstur dari halus hingga sedikit kasar. Melalui pengamatan mikroskop, *Candida albicans* memperlihatkan sel ragi berbentuk oval disertai dengan pembentukan blastospora dan pseudohifa.

Selain *Candida albicans*, ada spesies *Candida* lain yang juga sering ditemukan, yaitu *Candida parapsilosis*, *Candida tropicalis*, dan *Candida guilliermondii*. Spesies-spesies ini menunjukkan perbedaan morfologi yang sedikit pada pengamatan makroskopik, termasuk variasi warna koloni dari putih hingga kekuningan dan tekstur yang lebih halus atau berkerut. Dalam pengamatan mikroskop, spesies *Candida* umumnya menunjukkan sel ragi dengan pembentukan budding serta pseudohifa, yang merupakan ciri khas dari kelompok yeast yang bersifat patogen.

Keberadaan *Candida* spp. pada luka diabetik sangat terkait dengan tingginya kadar gula dalam jaringan luka, yang menjadi makanan bagi pertumbuhan jamur. Lingkungan lembap dan terbuka yang terdapat pada luka mempercepat perkembangan jamur, sehingga memperparah proses penyembuhan.

G. Signifikan Klinis dan Prevalensi Infeksi Jamur

Beberapa penelitian klinis menunjukkan adanya tingkat infeksi jamur yang cukup tinggi pada luka diabetik. Sebuah penelitian lokal mengungkapkan bahwa sekitar 27,5% individu dengan luka diabetik memiliki isolat jamur di dalam luka mereka, dengan *Candida albicans* sebagai spesies yang paling sering ditemukan (Balaji D, 2025). Penelitian lain yang dilakukan di rumah sakit juga mencatat bahwa prevalensi jamur berkisar antara 19-20% pada kasus luka diabetik, yang umumnya ditandai dengan isolasi *Candida* spp (Raza & Anurshetru, 2017)

Hal ini menunjukkan bahwa infeksi jamur bukan sekadar masalah kontaminasi, tetapi merupakan bagian integral dari mikrobiota luka yang dapat memperlambat proses penyembuhan. Infeksi jamur pada luka diabetik berhubungan dengan faktor risiko seperti kontrol gula darah yang buruk, lama durasi diabetes, dan kondisi luka yang sudah kronis, yang secara keseluruhan merugikan kemampuan tubuh untuk melawan infeksi mikroba. Oleh karena itu, pengujian kultur jamur

dan karakterisasi morfologis jamur menjadi langkah krusial dalam evaluasi laboratorium terhadap luka diabetik yang tidak menunjukkan respons terhadap perawatan standar

H. Metode Pemeriksaan

Pemeriksaan jamur pada ulkus diabetik merupakan bagian penting dalam upaya identifikasi agen infeksi yang berperan dalam proses penyembuhan luka. Dalam konteks teoritis, evaluasi jamur pada ulkus diabetikum bertujuan untuk mendeteksi keberadaan serta sifat-sifat jamur yang berkoloni atau menginfeksi jaringan luka. Proses ini sangat diperlukan mengingat infeksi jamur pada ulkus diabetik seringkali tidak terdeteksi secara klinis dan dapat memperburuk keadaan luka jika tidak ditangani dengan benar (Devasia *et al.*, 2022).

Secara umum, cara pemeriksaan jamur pada ulkus diabetik terdiri dari pemeriksaan mikroskopis langsung dan kultur jamur. Skrining awal dilakukan melalui pemeriksaan mikroskopis langsung untuk mendapati elemen jamur dalam sampel luka. Proses ini memanfaatkan preparat basah yang dicampur larutan kalium hidroksida (KOH) 10–20% yang berfungsi untuk melarutkan jaringan serta sisa-sisa, sehingga struktur jamur seperti hifa, spora, atau sel ragi bisa dilihat lebih jelas di bawah mikroskop. Metode ini cepat dan sederhana, namun tidak mampu mengidentifikasi spesies jamur secara spesifik (Nurwulan *et al.*, 2019).

Media untuk pertumbuhan mikroorganisme memiliki peranan penting dalam analisis mikrobiologi, karena berfungsi mendukung perkembangan dan identifikasi mikroorganisme dalam laboratorium. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Febri Sembiring, dkk, prosedur pemeriksaan mikrobiologi melibatkan beberapa langkah, yaitu pembuatan media kultur, inokulasi mikroorganisme, inkubasi, dan pengamatan pertumbuhan koloni di media. Mikroorganisme yang ditanam dalam media tersebut akan menunjukkan pertumbuhan koloni yang sehingga dapat diamati karakteristik pertumbuhannya. Selain itu, pemilihan media kultur yang tepat dapat membantu memastikan pertumbuhan mikroorganisme berjalan dengan optimal, sehingga proses identifikasi bisa dilakukan dengan baik. (Lubis, n.d.).

Metode kultur jamur adalah cara utama yang umum digunakan dalam pemeriksaan jamur pada ulkus diabetikum. Secara teoritis, sampel luka

diinokulasi pada media Sabouraud Dextrose Agar (SDA) yang memiliki pH asam dan konsentrasi glukosa yang tinggi, sehingga mendukung pertumbuhan jamur sekaligus menghambat pertumbuhan bakteri. Media SDA seringkali ditambahkan antibiotik, seperti kloramfenikol, untuk menghindari kontaminasi bakteri. Inkubasi dilakukan pada suhu 25–30°C selama 3–7 hari atau hingga koloni jamur berkembang secara optimal (Heck *et al.*, 2021).

Media kultur merupakan salah satu komponen penting dalam pemeriksaan mikrobiologi karena berfungsi dalam mendukung perkembangan mikroorganisme, sehingga identifikasi dapat dilakukan secara efektif. Mikroorganisme membutuhkan jenis nutrisi tertentu dari media pertumbuhan untuk mendukung metabolisme serta perbanyakan sel. Identifikasi mikroorganisme dilakukan melalui tahapan penanaman sampel ke dalam media kultur, proses inkubasi, pengamatan morfologi koloni, serta perhitungan jumlah koloni mikroorganisme yang tumbuh. Media kultur yang baik mampu menyediakan sumber nutrisi yang cukup agar pertumbuhan mikroorganisme dapat berlangsung maksimal (Rahmah *et al.*, 2025)

Jamur yang berkembang pada media kultur kemudian dianalisis berdasarkan ciri-ciri makroskopik dan mikroskopik. Pengamatan makroskopik mencakup warna koloni, bentuk, dimensi, dan tekstur permukaan koloni. Setiap spesies jamur memiliki karakteristik koloni yang unik, sehingga observasi ini memberikan informasi awal tentang jenis jamur yang berkembang. Selanjutnya, dilakukan analisis mikroskopik dengan menggunakan pewarnaan Lactophenol Cotton Blue untuk mengamati struktur jamur secara lebih rinci, termasuk hifa yang tersegmentasi atau tidak, konidia, blastospora, dan pseudohifa. Berdasarkan karakteristik ini, jamur dapat dikategorikan menjadi jamur ragi, jamur mold, atau dermatofita (Hartika, 2021).

Metode pemeriksaan jamur dengan kultur serta identifikasi morfologi adalah metode yang paling banyak digunakan dalam penelitian mengenai ulkus diabetikum. Identifikasi mikroorganisme merupakan langkah penting dalam mikrobiologi klinis yang bertujuan untuk mengenali jenis mikroorganisme penyebab infeksi, memberikan dukungan dalam penetapan diagnosis, serta pemilihan terapi yang sesuai. Akurasi dalam identifikasi sangat penting agar hasil

pemeriksaan yang diperoleh valid dan dapat menjadi dasar dalam penanganan kasus infeksi dengan tepat (Sembiring *et al.*, 2024).

I. Kriteria Identifikasi Jamur

Tabel 2.1 Kriteria Identifikasi Jamur

Spesies Jamur	Ciri Makroskopik (Koloni SDA)	Ciri Mikroskopik	Referensi Jurnal Internasional (Sampel Ulkus Diabetikum)
<i>Candida albicans</i>	Koloni putih hingga krem, bulat, permukaan halus dan lembap.	Sel ragi oval, blastospora dan pseudohifa.	(Kandregula <i>et al.</i> , 2022)
<i>Candida glabrata</i>	Koloni putih-krem, permukaan halus dan mengkilap.	Sel ragi oval hingga bulat dengan budding	(Devasia <i>et al.</i> , 2022)
<i>Candida guilliermondii</i>	Koloni kuning-krem, datar, permukaan halus.	Sel ragi oval dengan budding.	(Ge & Wang, 2023)
<i>Candida kefyr</i>	Koloni krem, bulat, cenderung menggelembung.	Sel ragi memanjang dengan pseudohifa.	(Ge & Wang, 2023)
<i>Candida parapsilosis</i>	Koloni putih-krem, agak berkerut, permukaan licin.	Sel ragi dan pseudohifa pendek.	(Azharuddin <i>et al.</i> , 2023)
<i>Candida tropicalis</i>	Koloni putih-krem, tekstur halus, permukaan mengkilap	Sel ragi oval dan pseudohifa.	(Devasia <i>et al.</i> , 2022)

J. Alur Kerangka Konseptual

