

BAB 1

ANALISIS KEBUTUHAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Diabetes Melitus (DM), atau sering disebut diabetes, adalah suatu gangguan metabolisme kronis yang ditandai oleh defisiensi produksi insulin oleh pankreas atau ketidak mampuan tubuh dalam memanfaatkan insulin dengan baik. Kondisi ini seringkali dianggap sebagai entitas yang kurang dipahami oleh individu karena memiliki kompleksitas tersendiri. Diabetes mempengaruhi regulasi kadar glukosa dalam darah, yang idealnya berada dalam rentang normal antara 90 hingga 140 mg/dL [1], [2]. Penumpukan glukosa darah jangka panjang dapat meningkatkan risiko diabetes, yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti kurang aktivitas fisik, asupan gula berlebihan, gangguan *response* insulin, produksi insulin yang berkurang, dan penghambatan kinerja insulin oleh hormon [3].

Diabetes dapat dibagi menjadi tiga kategori utama. Diabetes tipe 1 merupakan gangguan autoimun yang ditandai oleh serangan antibodi terhadap sel beta pankreas yang menghasilkan insulin. Diabetes tipe 2, melibatkan resistensi terhadap insulin meskipun produksinya normal, dan ini dipengaruhi oleh gaya hidup, faktor genetik, dan obesitas. Diabetes gestasional, jenis ketiga, terjadi selama kehamilan dan meningkatkan risiko komplikasi untuk ibu dan bayi yang dikandung. Faktor risiko termasuk usia ibu, kegemukan, riwayat diabetes gestasional sebelumnya, dan berat bayi yang melebihi 4.000 gram [3]–[5].

Individu yang menderita diabetes memiliki masalah pada aliran darah mereka salah satunya *viskositas* atau kekentalan. kekentalan darah yang meningkat dapat menghambat aliran darah, terutama pada pembuluh darah kecil. Ini dapat menyebabkan sel darah merah sulit melewati pembuluh darah kecil, mengakibatkan masalah pada organ-organ tubuh tertentu. Terdapat dampak pada elastisitas sel darah merah, terutama pada saat kadar gula darah tinggi, yang dapat merusak sel dan menghambat pergerakan mereka dalam pembuluh darah kecil. Hal ini berpotensi menimbulkan masalah pada mata, ginjal, dan meningkatkan risiko masalah jantung [6], [7]. Selain itu individu yang menderita diabetes, terdapat kecenderungan peningkatan jumlah sel darah putih seperti neutrofil, limfosit, trombosit dan perubahan pada lebar distribusi sel darah merah serta volume rata-rata trombosit [8]. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan terhadap kadar glukosa darah pasien diabetes yang memerlukan pemantauan terhadap kadar glukosa darah dengan cara mengukur kadar glukosa darah.

Pengukuran glukosa darah sangat penting bagi penderita diabetes karena membantu dalam pengambilan keputusan pola makan dan dosis insulin, pencegahan komplikasi, identifikasi fluktuasi glukosa darah, serta penyesuaian rencana pengobatan. Pengukuran glukosa darah ini penting dalam perawatan diabetes[9]. Terdapat beberapa metode pengukuran glukosa darah, yakni melalui pengukuran secara invasif dan non-invasif. Pengukuran secara invasif melibatkan pengambilan sampel darah dengan menggunakan jarum dan mengaplikasikan metode kimia yang melibatkan reagen enzim untuk mengukur konsentrasi glukosa dalam darah[10].

Pengukuran glukosa darah non-invasif merupakan metode pengukuran glukosa darah yang tidak mengakibatkan rasa sakit dan aman dalam mengukur kadar glukosa darah. metode ini memberikan kenyamanan yang lebih baik serta mengurangi ketidak nyamanan bagi penderita diabetes. Sensor non-invasif dapat dikelompokkan ke dalam dua jenis utama, yaitu sensor transdermal dan optik[11].

Sensor transdermal merupakan jenis sensor non-invasif untuk menganalisis glukosa dalam cairan tubuh seperti air mata, keringat, air liur, atau urin[12]. Sensor Transdermal digunakan untuk mengukur konsentrasi glukosa dalam *interstitial fluid* (ISF) di bawah kulit, yang memiliki korelasi dengan kadar glukosa darah. Sensor ini dapat diintegrasikan ke dalam perangkat yang dapat dikenakan seperti *smartwatches* atau *contact lenses*, Sensor Transdermal ini menggunakan elektrode ekstraksi dan elektrode glukosa untuk mengekstraksi ISF tanpa melukai kulit dan melakukan pengukuran glukosa secara terus menerus[12].

Sensor optik adalah alat yang memanfaatkan cahaya untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi glukosa dalam tubuh. Jenis-jenis sensor optik yaitu spektroskopi inframerah-dekat (NIR), spektroskopi inframerah-tengah (MIR), spektroskopi Raman, atau fluoresensi. Mekanisme kerja sensor-optik melibatkan interaksi antara cahaya dan molekul glukosa, yang mengakibatkan perubahan pada penyerapan, pantulan, atau hamburan Cahaya[13].

Pengukuran kadar glukosa darah secara non-invasif menggunakan Teknologi Sensor Optik Inframerah (NIR) berbasis spektroskopi Near-Infrared (NIR). Sensor ini memanfaatkan cahaya inframerah dekat untuk memantulkan cahaya pada kulit, mengukur intensitas pantulan cahaya untuk estimasi kadar glukosa darah. Komponen utama sensor mencakup sumber cahaya, detektor, dan unit pemrosesan sinyal. Sensor fotodioda berperan penting dalam mendeteksi kadar glukosa melalui prinsip optoelektrik pada panjang gelombang 950nm. Proses

ini melibatkan pembacaan daya yang diterima oleh fotodioda sebagai bagian integral dari pengukuran non-invasif glukosa darah berbasis spektroskopi NIR[1], [14], [15].

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk perkembangan pengukuran glukosa darah secara *non-invasive*. Sebagian besar teknik pemantauan non-invasif glukosa darah bergantung pada pengukuran jumlah molekul glukosa dengan respons berbeda terhadap berbagai panjang gelombang cahaya, seperti ultrasonik, inframerah-dekat (NIR), dan cahaya tampak. Meskipun teknik-teknik ini memungkinkan pemantauan kuantitatif secara real-time, penelitian menunjukkan bahwa tingkat akurasi yang dihasilkan masih belum mencapai standar yang sama dengan pengukuran glukosa darah *invasive*[16]. Kemudian, Penelitian sebelumnya juga menggunakan fantom darah sebagai pengganti darah asli. Fantom darah dapat menghilangkan risiko penularan penyakit. Selain itu, komposisi fantom darah dapat diatur dengan konsentrasi yang tetap, memungkinkan hasil yang lebih konsisten dan memudahkan dalam penelitian[23]. Perkembangan teknologi ini diharapkan dapat memberikan tingkat kenyamanan yang lebih optimal bagi para penderita diabetes, serta membantu dalam pengelolaan yang lebih efektif terhadap tingkat glukosa mereka.

1.2 Informasi Pendukung

Menurut laporan *International Diabetes Federation (IDF)*, pada tahun 2022, Indonesia memiliki jumlah penderita diabetes tipe 1 sebanyak 41.8 ribu orang, menjadikannya negara dengan jumlah penderita diabetes tipe 1 terbanyak di ASEAN dan menempati peringkat ke-34 dari 204 negara di seluruh dunia. Mayoritas penderita diabetes tipe 1 di Indonesia berusia antara 20-59 tahun, tetapi juga terdapat sejumlah penderita muda, seperti yang terlihat dari Tabel 1.1 [17].

Tabel 1.1 Penderita Diabetes Berdasarkan Kelompok Usia di Asia

No	Nama	Di Bawah 20 Tahun / Orang	20-59 Tahun / Orang	60 Tahun Ke Atas / Orang
1	Indonesia	13.311	26.781	1.721
2	Filipina	6.100	9.788	559
3	Vietnam	4.061	9.897	839
4	Thailand	2.196	7.415	1.807
5	Malaysia	1.49	4.901	687
6	Myanmar	2.569	4.162	262
7	Singapura	564	4.131	1.489
8	Kamboja	874	1.327	66
9	Laos	412	601	25
10	Timor Leste	86	108	4

Pengetahuan mendalam mengenai tanda dan gejala diabetes menjadi kunci untuk pencegahan awal terkena penyakit diabetes. Meningkatnya frekuensi buang air kecil, penurunan berat badan yang cepat, rasa haus dan lapar yang berlebihan, kulit yang bermasalah, pandangan yang kabur atau sesekali melihat kilatan Cahaya. Oleh karena itu, pemahaman yang lebih baik terhadap manifestasi diabetes perlu diperoleh untuk mengoptimalkan upaya pencegahan, pengobatan, dan perawatan [18].

Peningkatan viskositas darah pada penderita diabetes disebabkan oleh sejumlah faktor terkait perubahan pada sel darah merah dan komponen darah lainnya. Kadar gula yang tinggi memicu proses glikasi, mengakibatkan kerusakan struktural pada sel darah merah dan membuatnya kurang fleksibel serta sulit bergerak. Selain itu, agregasi sel darah merah yang cenderung berkelompok mengakibatkan darah menjadi lebih kental, mengganggu aliran normal di pembuluh darah kecil. Perubahan komposisi darah, seperti peningkatan hematokrit akibat dehidrasi, serta kerusakan pada pembuluh darah juga menjadi kontributor utama pada

peningkatan viskositas darah pada penderita diabetes. Monitoring rutin perlu dilakukan karena perubahan ini dapat memberikan informasi penting terkait kondisi sel darah merah yang berpotensi mempengaruhi aliran darah dan kesehatan secara keseluruhan [6].

Terdapat penelitian yang dilakukan oleh peneliti salah satunya dilakukan oleh *Rheologics, Inc.* Penelitian ini menggunakan pewarna *Indocyanine green (ICG)* untuk memeriksa aliran darah pada orang-orang dengan diabetes tanpa komplikasi, mereka yang memiliki diabetes dengan masalah tambahan, dan individu tanpa diabetes. Hasil menunjukkan bahwa individu diabetes tanpa masalah tambahan memiliki aliran darah yang lebih lambat dan volume darah yang lebih rendah dibandingkan dengan individu sehat. Sementara itu, individu diabetes dengan masalah tambahan menunjukkan aliran darah yang lebih cepat namun dengan volume darah yang lebih sedikit. Selain itu, penelitian juga menyoroti bahwa respon tubuh terhadap rangsangan pada pembuluh darah berbeda antara individu diabetes dengan masalah tambahan dan individu sehat. Faktor-faktor seperti kadar glukosa tinggi, disfungsi pembuluh darah, peradangan mikrovaskular, perubahan komposisi darah, dan kerusakan saraf otonom menjadi penyebab gangguan aliran darah pada penderita diabetes, yang dapat berujung pada komplikasi kesehatan serius [7].

Dalam wawancara dengan seorang dokter umum di klinik cileunyi medika yang bernama dokter Hadiyatussalamah Pusfa Kencana Sari, kami mengeksplorasi berbagai aspek pengukuran gula darah pasien. Dokter menyatakan bahwa penggunaan metode non invasif cenderung lebih nyaman. Menurut dokter, metode invasif yang melibatkan menusuk jari atau vena seringkali menimbulkan rasa sakit dan ketidak nyamanan pada pasien. Namun, dalam hal harga, dokter juga mengakui bahwa metode invasif biasanya lebih ekonomis dibandingkan metode non-invasif yang lebih canggih. Dokter menyoroti bahwa metode non-invasif umumnya lebih mudah digunakan, yang dapat menguntungkan pasien. Dokter juga menggaris bawahi pentingnya akurasi dalam pengukuran gula darah, dengan mengakui bahwa metode invasif cenderung memberikan hasil yang lebih akurat. Meskipun begitu, dokter mencatat bahwa metode non-invasif terus mengalami perkembangan teknologi untuk meningkatkan tingkat akurasi mereka. Dalam hal kenyamanan, dokter juga mengakui bahwa metode non-invasif lebih nyaman bagi pasien karena tidak melibatkan tusukan jarum atau pengambilan sampel darah.

1.3 Constraint

1.3.1 Aspek Ekonomi

Menurut International Diabetes Federation, pada tahun 2015, diabetes menyebabkan 5 juta kematian dan mengakibatkan biaya perawatan kesehatan mencapai \$1197 miliar di seluruh dunia. Selain itu, pada tahun 2040, diperkirakan akan ada sekitar 642 juta penderita diabetes di seluruh dunia. Penggunaan sistem pengukuran non-invasif berbasis *Near Infrared (NIR)* dalam mengukur kadar glukosa memiliki potensi untuk mengurangi biaya perawatan kesehatan dengan memperbaiki pengelolaan diabetes dan mengurangi risiko komplikasi [19].

1.3.2 Aspek Pengguna

Sistem pengukuran glukosa non-invasif menawarkan kenyamanan dan pengerjaan yang lebih baik dalam pemantauan kadar glukosa, dengan mengurangi rasa sakit serta ketidaknyamanan seperti metode *invasive*, dan memberikan hasil yang akurat minimal 90% [11], [19]–[21]. Selain itu, alat ini juga dapat menyimpan data selama periode waktu tertentu.

1.3.3 Aspek Safety

Metode pengukuran darah secara *non-invasive* ini tidak menimbulkan kerusakan fisik pada tubuh, menghindari ketidaknyamanan dan rasa sakit yang sering terjadi akibat pengukuran darah secara *invasive*. Penggunaan metode ini mampu mengurangi traumatisasi pasien yang sering terjadi akibat pengambilan darah invasif, karena tidak melibatkan jarum suntik. Metode non-invasif ini tidak memerlukan penggunaan bahan kimia berbahaya seperti yang ditemukan pada beberapa alat pengukur glukosa invasif, menjadikannya lebih aman bagi pengguna. Metode ini lebih efisien karena tidak memerlukan perangkat yang kompleks dan mahal seperti jarum lancet dan alat lancet [10], [22]. Penggunaan fantom darah digunakan sebagai pengganti darah untuk pengujian. Fantom darah" adalah istilah yang sering digunakan dalam konteks medis untuk menggambarkan gejala atau kondisi yang dirasakan seseorang yang seolah-olah berhubungan dengan darah, meskipun hasil pemeriksaan medis menunjukkan bahwa tidak ada masalah dengan kadar darah mereka. Istilah ini bisa merujuk pada fenomena di mana seseorang mengalami gejala seperti pusing, kelemahan, atau kelelahan yang mereka hubungkan dengan masalah darah, tetapi penyebabnya mungkin lebih kompleks dan tidak terkait langsung dengan kadar darah yang sebenarnya [23].

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan latar belakang, kebutuhan yang harus dipenuhi oleh sistem yang diusulkan sebagai berikut:

1. Produk dapat mengukur kadar glukosa secara *non-invasive* dimana produk dapat mengukur secara akurat dan cepat (maksimal 2 menit). Sebagai pengganti darah, digunakan fantom darah.
2. Produk dapat menampilkan hasil pengukuran glukosa pada fantom darah.

1.5 Tujuan

Tujuan produk ini adalah mengembangkan sebuah alat yang mampu melakukan pengukuran glukosa pada fantom darah secara non-invasif dengan tingkat akurasi minimal 75% dan waktu pengukuran maksimal 2 menit. Selain itu, produk ini juga bertujuan memberikan pengguna informasi mengenai kadar glukosa. Di samping aspek teknis, tujuan tambahan adalah memberikan kenyamanan kepada pengguna melalui pengukuran tanpa tindakan invasif yang menimbulkan luka untuk mengurangi risiko infeksi.