

# BAB I. PENDAHULUAN

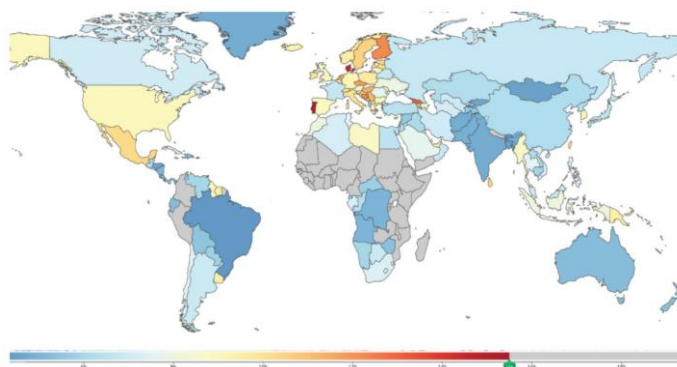
## 1.1. Latar Belakang

Diabetes mellitus (DM) merupakan gangguan metabolik kronik yang ditandai dengan kadar gula darah melebihi batas normal. Diabetes sendiri terbagi menjadi DM tipe 1, DM tipe 2, dan DM gestasional.<sup>1</sup> DM tipe 2 memiliki onset yang lama, dan jarang memiliki tanda-tanda gangguan metabolik akut seperti yang terlihat pada DM tipe 1. DM tipe 2 memiliki periode pre-deteksi yang panjang, dan hingga 50% kasus biasanya tidak terdeteksi.<sup>2</sup>

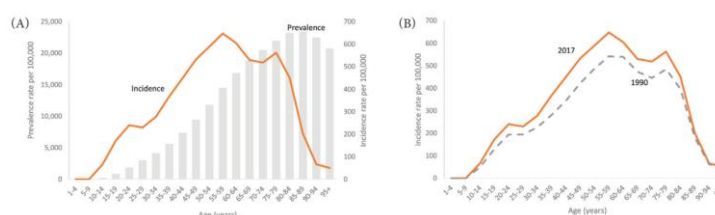
Menurut *World Health Organization* (WHO) dan *International Working Group on the Diabetic Foot* (IWGDF), kaki diabetik didefinisikan sebagai kaki pasien diabetik yang mengalami infeksi dan/atau destruksi jaringan profunda akibat abnormalitas neurologis dan gangguan vascular perifer pada ekstremitas inferior.<sup>3,4</sup>

Ulkus kaki diabetik didefinisikan sebagai ulkus yang terjadi pada kaki pasien diabetes. Penyakit ini merupakan salah satu masalah kesehatan utama karena jumlah pasien yang terus meningkat, sulitnya penyembuhan, biaya penanganan tinggi, serta menyebabkan penurunan kualitas hidup pasien.<sup>5</sup> Ulkus kaki diabetik dicirikan dengan trias neuropati, iskemik, dan infeksi. Pencegahan kaki diabetik dapat dilakukan dengan mengetahui individu mana yang berisiko tinggi, seperti pasien penderita neuropati perifer, penyakit vascular perifer, deformitas kaki, trauma minor berulang, serta adanya callus.<sup>5,6</sup>

Dari segi epidemiologi frekuensi kejadian serta tingkat keparahan kaki diabetik sangat bervariasi antara daerah, dengan prevalensi global sekitar 6.3%-15% dari semua pasien diabetes. Di Asia prevalensinya sekitar 5.5%. Dari jumlah tersebut, 15-20% diantaranya berakhir dengan amputasi. Di India sekitar 40.000 kasus kaki diabetik diamputasi tiap tahunnya. Tingginya prevalensi amputasi tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti berjalan tanpa alas kaki, tidak berpendidikan, status sosioekonomi buruk, lambatnya penanganan, proses rujukan yang lama, dan lebih mempercayai pengobatan alternatif.<sup>5,6</sup>



**Gambar 2.1** Prevalensi global DM tipe 2 tahun 2017. Warna menunjukkan tingkat prevalensi per 100.000 populasi <sup>7</sup>



**Gambar 2.2** Distribusi global DM tipe 2 berdasarkan usia. (a) Insidens dan prevalensi (tahun 2017). (b) Perbandingan insidens antara tahun 1990 dan tahun 2017 <sup>7</sup>

Indonesia merupakan salah satu dari 10 negara dengan populasi penderita DM terbesar di dunia. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa prevalensi penderita kaki diabetik di Indonesia sebesar 25% dari seluruh pasien rawat jalan.<sup>8</sup> Data tahun 2019 menunjukkan bahwa di Sulawesi Selatan terdapat 148.311 penderita DM. Sedangkan secara khusus untuk di Makassar, data tahun 2016 menunjukkan adanya 6.106 kasus baru, dengan 16.800 kasus lama dan 198 pasien meninggal karena DM.<sup>9</sup>

Saat ini sudah ada beberapa sistem klasifikasi yang dapat digunakan untuk menilai tingkat keparahan kaki diabetik. Sistem klasifikasi yang ideal harus mudah digunakan dan mudah dimengerti oleh siapa saja yang merawat pasien, sehingga kita dapat mengarahkan terapi untuk mendapatkan hasil optimal. Beberapa sistem klasifikasi yang ada antara lain: (1) Sistem klasifikasi WAGNER, (2) *University of Texas wound classification system*, (3) sistem klasifikasi PEDIS, (4) sistem klasifikasi SINBAD, dan (5) *SCI-Diabetes Ulcer Management System*.<sup>10</sup>

Ultrasonography (USG) Doppler pada arteri ekstremitas inferior dapat digunakan untuk menilai adanya penyakit arteri perifer dengan

sensitifitas sebesar 80-98% dan spesifisitas 89-99%. USG dapat mendiagnosis stenosis dengan cara visualisasi plak secara langsung, serta melalui analisis gelombang Doppler pada arteri stenotik dan post-stenotik. USG Doppler *pulsed-wave* dapat menunjukkan kecepatan aliran darah pada setiap segmen arteri serta menentukan derajat keparahan stenosis berdasarkan analisis gelombang spectral Doppler *pulsed-wave*.<sup>11,12</sup>

Terdapat penelitian sebelumnya dengan judul yang hampir sama, “Korelasi Nilai *Peak Systolic Velocity* dengan WAGNER Score pada Pasien Ulkus Kaki Diabetik di RSUP Dr. M. Djamil Padang” yang dilakukan oleh Fernando Laroza et al., dengan hasil menunjukkan terdapat korelasi negatif antara nilai PSV a. poplitea, a. dorsalis pedis, dan a. tibialis posterior dengan score WAGNER pada populasi pasien diabetes.<sup>13</sup>

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang diuraikan diatas, maka dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut: Apakah terdapat korelasi antara *peak systolic velocity* arteri ekstremitas inferior dengan tingkat keparahan kaki diabetik?

## 1.3. Hipotesis Penelitian

Terdapat korelasi negatif antara *peak systolic velocity* arteri ekstremitas inferior yang dinilai menggunakan USG Doppler dengan tingkat keparahan kaki diabetik berdasarkan kriteria WAGNER. Semakin tinggi nilai *peak systolic velocity* maka akan semakin rendah tingkat keparahan kaki diabetik.

## 1.4. Tujuan Penelitian

### 1.4.1. Tujuan Umum

Menilai korelasi antara *peak systolic velocity* arteri ekstremitas inferior dengan tingkat keparahan kaki diabetik berdasarkan kriteria WAGNER

### 1.4.2. Tujuan Khusus

- 1) Mengetahui nilai *peak systolic velocity* arteri ekstremitas inferior
- 2) Mengetahui tingkat keparahan kaki diabetik berdasarkan kriteria WAGNER

## **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian dapat dibagi kedalam:

a. Pengembangan Ilmu

Menjadi acuan/dasar bagi pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya di bidang vascular dan Doppler Arteri Ekstremitas.

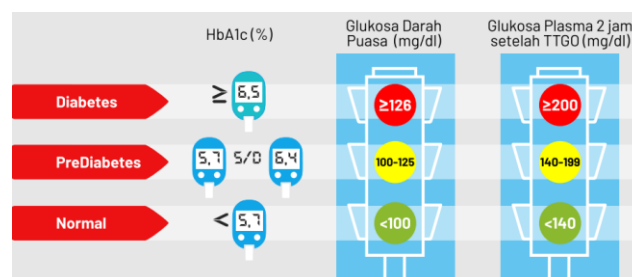
b. Aplikatif

Menjadikan pemeriksaan USG Doppler arteri ekstremitas inferior sebagai pemeriksaan skrining awal bagi pasien DM yang berisiko menderita kaki diabetik berat

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kaki Diabetik

Pada tahun 2019 diestimasikan sekitar 422 juta orang diseluruh dunia menderita DM, dan prevalensinya meningkat dengan cepat di negara-negara berpenghasilan menengah kebawah. Sekitar 1 dari 4 pasien DM akan menderita kaki diabetik.<sup>14</sup> Untuk diagnosis DM sendiri, WHO merekomendasikan penggunaan tes toleransi glukosa oral (TTGO) sebanyak 75 gram, dimana diagnosis diabetes ditegakkan jika kadar glukosa puasa  $\geq 126$  mg/dl (7.0 mmol/L); glukosa 2 jam post *challenge*  $\geq 200$  mg/dl (11.1 mmol/L). Selain itu juga disetujui juga penggunaan HbA1c untuk mendiagnosis diabetes, dengan nilai batas 48 mmol/L ( $> 6.5\%$ ).<sup>2,15</sup>



Gambar 2.3 Kriteria diagnosis diabetes <sup>1</sup>

#### Patofisiologi

Kaki diabetik tidak terjadi karena 1 patologi saja. Kaki diabetik terjadi karena faktor intrinsik yaitu insensitivitas/penurunan sensasi akibat neuropati, pembentukan callus, serta faktor ekstrinsik lainnya seperti berjalan tanpa alas kaki, menginjak benda tajam, atau memakai sepatu yang ukurannya tidak pas. Selain itu juga ada faktor iskemik dan infeksi yang menyebabkan terjadinya ulkus.<sup>16</sup> Tingkat kedalaman ulkus juga menjadi salah satu faktor penentu prognosis kaki diabetik.<sup>17</sup>

Hiperglikemia akan menyebabkan stress oksidatif pada sel saraf dan menyebabkan neuropati. Disfungsi sistem saraf selanjutnya diikuti oleh glikosilasi protein sel saraf, menyebabkan iskemik lebih lanjut. Kumpulan perubahan selular tersebut termanifestasi sebagai gangguan motorik, autonomik, dan sensorik. Gangguan motorik akan menyebabkan imbalance otot dan deformitas anatomi; gangguan autonomik mengganggu

fungsi kelenjar keringat sehingga terjadi kekeringan dan pecah pada kulit sehingga mempermudah terjadinya kerusakan kulit; gangguan nervus menyebabkan penurunan sensasi perifer.<sup>18</sup>

Gangguan vascular mengganggu proses penyembuhan luka sehingga terjadi ulkus kronik. Secara spesifik terjadi perubahan pada arteri perifer akibat hiperglikemia pada tingkatan selular. Disfungsi sel-sel endotel tersebut menyebabkan penurunan vasodilator dan peningkatan kadar plasma thromboxane A<sub>2</sub>; terjadi vasokonstriksi vascular dan hiperkoagulasi plasma pada arteri perifer yang menyebabkan iskemik dan peningkatan risiko ulserasi.<sup>18</sup>

Pada kaki diabetik dapat terjadi peningkatan aliran darah karena shunt arterio-vena dan dilatasi serta kekakuan arteri perifer. Indeks pulsatilitas jauh berkurang. Pola aliran darah normal pada Doppler ekstremitas adalah trifasik (*forward flow* pada fase sistolik diikuti dengan *reverse flow* dan *forward flow* singkat pada fase diastolik). Pada pasien diabetes terjadi peningkatan *forward flow* tanpa/penurunan *reverse flow*.<sup>16</sup>

Saat melakukan anamnesis pada pasien DM, kita harus menanyakan semua faktor risiko gangguan vascular. Selain status hiperglikemia, ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi keadaan vascular perifer diantaranya adalah 1) status perokok aktif, 2) hipertensi, 3) dyslipidemia, dan 4) durasi sejak terdiagnosis DM.

#### 1) Status perokok aktif

Merokok meningkatkan risiko terjadinya *peripheral artery disease* (PAD) sebanyak beberapa kali lipat. Terdapat beberapa patomekanisme terjadinya atherosclerosis / gangguan vascular, diantaranya adalah disfungsi endotel, gangguan metabolisme lipoprotein, gangguan koagulasi, dan gangguan fungsi platelet.<sup>19</sup>

#### 2) Hipertensi

Hipertensi dapat memperparah progresi PAD, mengakibatkan penurunan perfusi perifer, meningkatkan risiko terjadinya *critical limb ischemia*, serta mengganggu proses penyembuhan luka.<sup>20</sup>

#### 3) Dyslipidemia

Sebagian besar pasien PAD mengalami hiperlipidemia, khususnya kadar kolesterol *low density* lipoprotein (LDL) yang tinggi. Terapi dyslipidemia dapat menurunkan morbiditas dan mortalitas pasien

PAD.<sup>21</sup> Resistensi insulin akan mempengaruhi metabolisme lipid dan lipoprotein, secara spesifik yaitu meningkatkan produksi *very low density lipoprotein* (VLDL) dan meningkatkan katabolisme *high density lipoprotein* (HDL). Selain itu resistensi insulin juga berhubungan dengan perubahan ukuran rata-rata lipoprotein sehingga berhubungan erat dengan terjadinya dyslipidemia.<sup>22</sup>

#### 4) Durasi sejak terdiagnosis DM

Pasien yang telah menderita diabetes selama > 10 tahun lebih rentan mengalami PAD.<sup>23</sup>

#### Vasculopati

Vasculopati diabetik merupakan kumpulan komplikasi makro- dan mikrovaskular akibat diabetes yang meliputi retinopathy, neuropathy, atherosclerosis, penyakit jantung koroner, hipertensi, dan *peripheral artery disease*. Mekanisme selular dan molekular yang mendasarinya adalah gangguan aktivasi sistem renin-angiotensin-aldosterone, disfungsi mitokondrial, stress oksidatif, inflamasi, dyslipidemia, serta thrombosis.<sup>24</sup>

#### Neuropati

Neuropati perifer merupakan komplikasi diabetes yang dicirikan dengan kerusakan saraf akibat paparan kadar gula darah yang tinggi dalam waktu lama. Gejala neuropati perifer bervariasi mulai dari nyeri, rasa geli, rasa terbakar, hiperalgesia, mati rasa, kelemahan otot, disfungsi autonom, hingga menyebabkan ulkus pada kaki.<sup>25,26</sup>

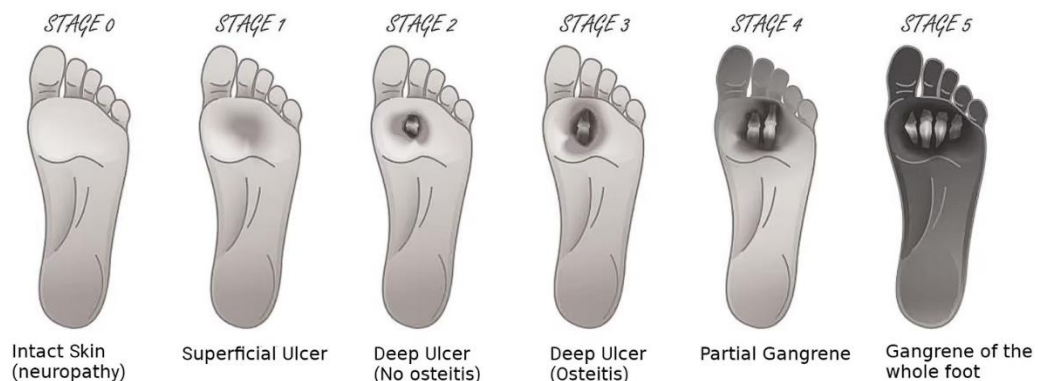
Banyak patofisiologi yang telah dipaparkan yang dianggap menyebabkan neuropati perifer, mulai dari gangguan metabolik, neurovascular, dan jalur autoimun. Dipaparkan juga faktor lain seperti faktor genetik, sosial dan gaya hidup (konsumsi alkohol dan merokok). Intinya adalah kadar glukosa darah yang tinggi menyebabkan terjadinya resistensi insulin, menyebabkan terjadinya stress oksidatif, inflamasi, serta kerusakan sel. Inilah awal terjadinya kerusakan serabut saraf sensorik dan autonom progresif mulai dari distal ke proximal, menyebabkan terjadinya penurunan sensasi kulit dan sendi secara gradual.<sup>26</sup>

### Klasifikasi

Ada banyak sistem klasifikasi yang dapat digunakan untuk menilai keparahan kaki diabetik. Penelitian ini akan menggunakan sistem klasifikasi WAGNER yang akan dijelaskan lebih lanjut dalam Tabel 2.1.<sup>16</sup> Kekurangan sistem klasifikasi WAGNER adalah tidak menilai faktor infeksi dan iskemik, dan oleh karena itu beberapa klinisi dan peneliti lebih suka menggunakan kriteria *University of Texas*.<sup>27</sup>

**Tabel 2.1** Sistem Klasifikasi WAGNER <sup>16</sup>

Grade	Kedalaman Luka
0	Area pre-ulkus tanpa adanya lesi terbuka
1	Ulkus superfisial ( <i>partial / full thickness</i> )
2	Ulkus hingga kedalaman tendon, capsula, tulang
3	Sama dengan grade 2, ditambah abses, osteomyelitis, atau sepsis sendi
4	Gangren lokal
5	Gangren seluruh kaki

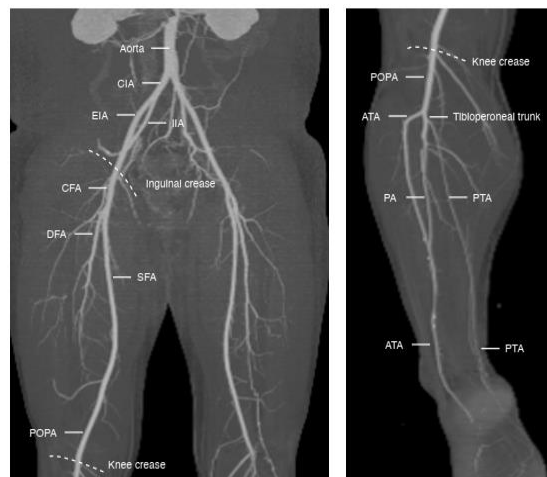


**Gambar 2.4.** Gambaran klinis kriteria WAGNER. Gambar yang menunjukkan kedalaman dan keparahan ulkus kaki diabetik <sup>27</sup>

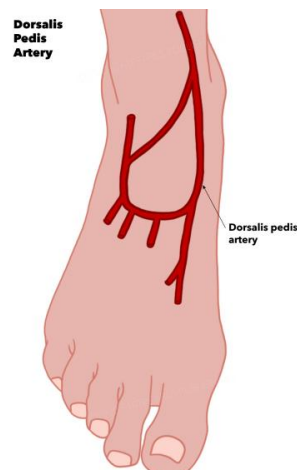
Nilai kriteria WAGNER yang lebih tinggi dihubungkan dengan peningkatan risiko amputasi dan kebutuhan penatalaksanaan multimodalitas. Oleh karena itu, stratifikasi / pemisahan pasien kaki diabetik berdasarkan grading WAGNER dapat membantu mengurangi risiko amputasi dan mortalitas. Penatalaksanaan multimodalitas yang tepat dapat memperbaiki prognosis jangka panjang.<sup>28</sup>

## 2.2. Anatomi Arteri Ekstremitas Inferior

Arteri illiaca communis (CIA) akan bercabang menjadi arteri illiaca interna (IIA) dan eksterna (EIA) didalam rongga pelvis. Arteri illiaca eksterna akan berlanjut menjadi arteri femoralis communis (CFA) setelah melewati ligamentum inguinale yang berada superior dari lipatan inguinal. CFA selanjutnya bercabang menjadi arteri femoralis superficial (SFA) yang berjalan ke arah medial dan arteri femoralis profunda (DFA) yang berjalan ke arah lateral. Arteri femoralis superficial berlanjut menjadi arteri poplitea (POPA) setelah melewati adductor hiatus. Dibawah lutut POPA akan bercabang menjadi arteri tibialis anterior (ATA) dan truncus tibioperoneal. Truncus tibioperoneal mempercabangkan arteri tibialis posterior (PTA) dan arteri peroneal (PA). ATA akan berlanjut menjadi arteri dorsalis pedis (DOA).<sup>11</sup>



**Gambar 2.5** Skema perjalanan arteri ekstremitas inferior <sup>11</sup>

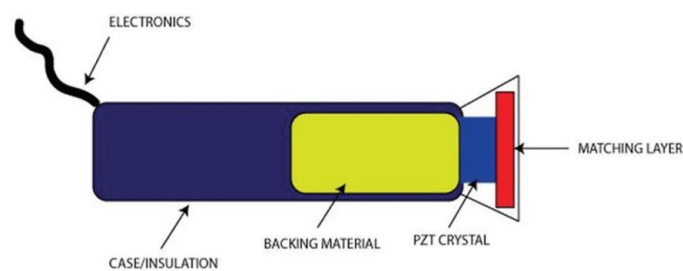


**Gambar 2.6.** Gambaran anatomi arteri dorsalis pedis <sup>29</sup>

### 2.3. Pemeriksaan USG

Ultrasound adalah gelombang suara dengan frekuensi diatas ambang batas pendengaran manusia. Penggunaan gelombang suara ultrasound dalam bidang medis memanfaatkan sifat akustik dari organ tubuh manusia yang dapat menghasilkan gambaran organ konstan serta jaringan yang bergerak. Bagian paling penting dari sebuah USG adalah probe yang berisi kristal piezoelektrik. Gelombang suara yang dihasilkan akan masuk kedalam organ tubuh kemudian memantulkan sinyal echo yang diproses oleh unit ultrasound menjadi gambar yang terlihat di layar.<sup>30</sup>

Gelombang suara yang digunakan untuk diagnostik biasanya memiliki frekuensi 1-20 MHz. Hilangnya energi dari gelombang suara karena pantulan, *scatter* / terhambur, atau terabsorpsi disebut atenuasi. Makin tinggi frekuensi maka makin tinggi pula atenuasi yang akan terjadi, sehingga probe frekuensi tinggi tidak dapat mempenetrasi lebih dalam dibanding probe frekuensi rendah.<sup>31</sup>



**Gambar 2.7** Komponen utama probe USG <sup>11</sup>

Penggunaan Doppler dalam menilai kecepatan aliran darah didasarkan pada rumus fisika perubahan frekuensi. Perubahan frekuensi (*frequency shift*) tersebut proporsional dengan kecepatan pergerakan suatu objek. Sehingga perubahan frekuensi Doppler ( $\Delta f_d$ ) adalah perbedaan antara frekuensi yang diterima dan frekuensi yang ditransmisikan, sedangkan  $c$  adalah kecepatan suara,  $\cos$  adalah simbol untuk cosinus,  $v$  adalah kecepatan aliran darah dan axis sinar ultrasound,  $f_t$  adalah frekuensi yang ditransmisikan,  $f_r$  adalah frekuensi yang diterima kembali.<sup>32</sup>

$$\Delta f_d = f_t - f_r = \frac{2f_t v \cos \theta}{c}$$

**Gambar 2.8** Rumus perubahan frekuensi Doppler <sup>32</sup>

Dalam mendeteksi PAD, USG Doppler memiliki kelebihan: 1) non-invasif, 2) mudah dilakukan, 3) murah, dan 4) mudah diulang.<sup>33</sup> Sedangkan kekurangannya yaitu: 1) kurang akurat untuk pengukuran pada area aorticoiliac atau pada pasien obesitas, 2) sensitifitas terbatas pada kasus multiple stenosis, dan 3) sensitifitas terbatas pada pembuluh darah dengan kalsifikasi yang sangat berat.<sup>34</sup>

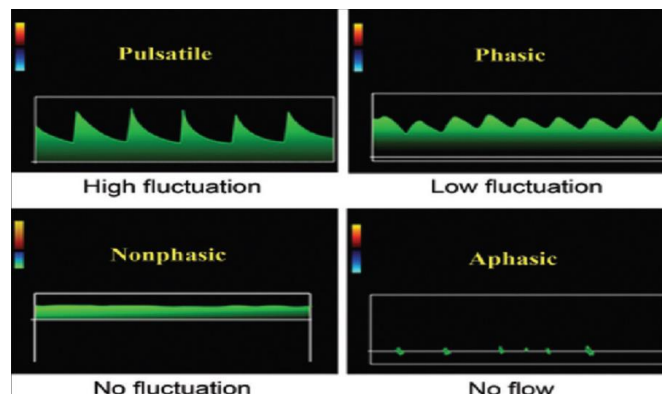
*Spectral Doppler Imaging* (SDI) adalah salah satu mode pemeriksaan USG. Pada SDI kita dapat menentukan kecepatan serta kedalaman arteri yang dinilai. Sehingga kita dapat menentukan kecepatan aliran darah untuk menilai ciri/pola aliran yang berbeda – yaitu pulsatilitas dan phasicitas aliran darah. Selain itu kita dapat menentukan parameter aliran darah spesifik seperti percepatan atau perlambatan, indeks resistensi, serta kecepatan puncak sistolik dan diastolik.<sup>32</sup> Gelombang spectral Doppler memiliki phasicitas, yaitu kecepatan serta percepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh siklus jantung. Aliran darah tersebut kemudian akan nampak sebagai gelombang phasic. Terdapat 4 jenis phasicitas, yaitu:<sup>30</sup>

1. Gelombang nonphasic: Jika kecepatan aliran konstan atau tidak ada perubahan kecepatan aliran darah. Gelombangnya lurus dan rata
2. Gelombang aphasic: Jika tidak ada kecepatan, tidak ada fase, dan tidak ada aliran
3. Gelombang phasic: Jika terdapat ripple moderat
4. Gelombang pulsatil: Terdapat ripple yang jelas

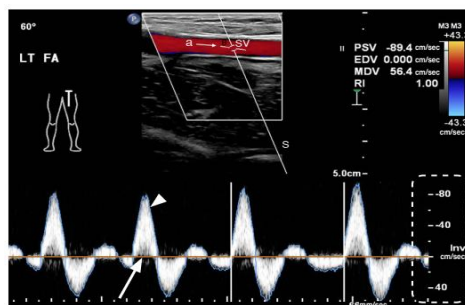
Penelitian yang dilakukan oleh Latifat Tunrayo Oduola-Owoo et al. tahun 2022 terhadap 94 kaki diabetik menunjukkan bahwa sekitar 50-60% pasien kaki diabetik akan menunjukkan kelainan gelombang trifasik normal pada ekstremitas.<sup>15</sup> Hasil penelitian Riffat Shaheen dan Saba Sohail terhadap 100 pasien diabetes dengan PAD menunjukkan kebanyakan kelainan ditemukan pada a. dorsalis pedis (24%), a. femoralis superfisial (17%), a. poplitea (14.5%), dan a. tibialis posterior (9.6%). Didapatkan

pelebaran gelombang spectral (24%), gelombang bifasik (36%), dan gelombang monofasik (63.4%).<sup>35</sup>

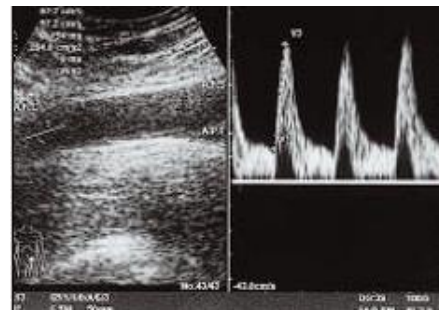
Terdapat metode pemeriksaan doppler lain yaitu *Color Doppler Imaging* (CDI) / *color flow mode* yang menggunakan sinyal doppler dari arteri/pembuluh darah untuk menilai vascularisasi. Adanya gelombang dari sel darah yang terus bergerak atau konstan pada arah yang paralel dengan probe akan ditangkap menjadi sinyal. Frekuensi Doppler positif jika arah sumber sinyal mendekati probe, dan negatif jika menjauhi probe.<sup>30</sup>



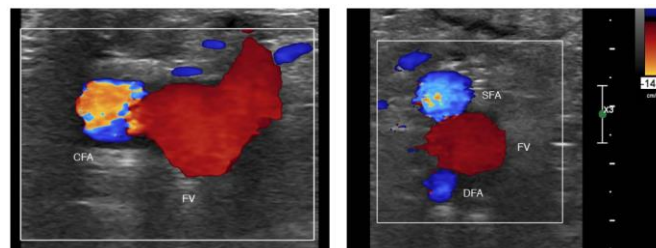
**Gambar 2.9** Jenis-jenis gelombang / phascisitas <sup>30</sup>



**Gambar 2.10** Spectral Doppler normal <sup>11</sup>

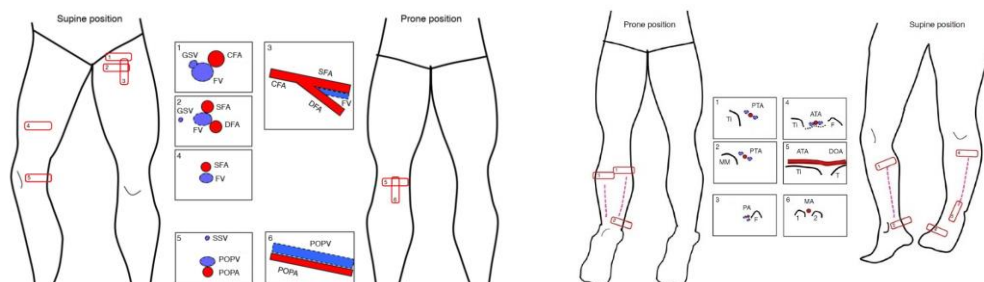


**Gambar 2.11.** Waveform a. femoralis abnormal. Tampak flow monofasik karena obstruksi <sup>35</sup>



**Gambar 2.12** Color Doppler arteri dan vena femoralis normal <sup>11</sup>

Ada beberapa indikator yang dinilai saat pemeriksaan USG. Pertama-tama pembuluh darah akan dinilai dalam potongan longitudinal. Dapat dilakukan pengukuran ketebalan dinding dalam pembuluh darah (tunica intima), keadaan angiostenosis, oklusi vaskular, thrombosis, serta ketebalan plak. Pembuluh darah normal memiliki dinding dalam vascular yang mulus, aliran darah dan pemeriksaan spectral dalam batas normal. Pada pembuluh darah yang mengalami kelainan, dinding dalam pembuluh darah menebal  $> 1$  mm, aliran darah melambat, sinyal aliran darah melemah, tampak atherosclerosis dan oklusi.<sup>33</sup>

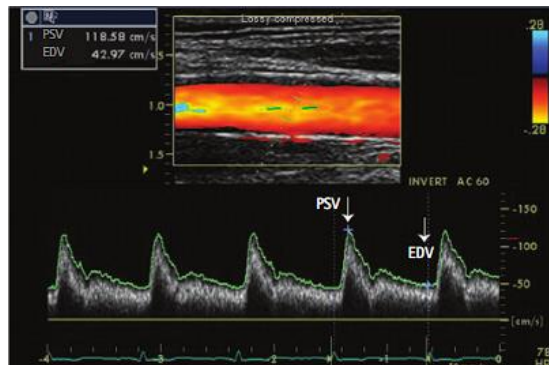


**Gambar 2.13** Daerah pemeriksaan USG vascular ekstremitas inferior<sup>11</sup>

Penelitian yang dilakukan oleh Huei-Lung Liang terhadap 60 pasien sehat di *Kaohsiung Veterans General Hospital* (rentang usia 15-45 tahun, pasien non-perokok, tidak ada riwayat hipertensi dan diabetes, tidak ada faktor risiko cardiovascular, tekanan darah sistolik dan diastolik dalam batas normal, *ankle-brachial index* (ABI) dalam batas normal) menemukan hasil *volume flow* arteri femoralis communis sebesar 434.4 mL/min; arteri femoralis superfisial 172.5 mL/min; arteri poplitea 92.1 mL/min; arteri dorsalis pedis 11.8 mL/min; dan arteri plantaris 12.0 mL/min.<sup>36</sup>

*Peak systolic velocity* (PSV) adalah *peak* / kecepatan aliran darah maksimal selama fase kontraksi siklus jantung yang terlihat pada *spectral wave*. PSV merupakan salah satu parameter ultrasound yang paling baik untuk mendeteksi adanya stenosis, yang akan meningkat seiring dengan penyempitan lumen pembuluh darah. PSV dipengaruhi oleh usia dan *cardiac output* / kontraktilitas jantung. Selain itu nilai PSV akan berbeda tergantung lokasi anatomi tempat dilakukannya pengukuran. Pengukuran PSV mudah dilakukan, memiliki reproduibilitas intra- dan inter-observer yang baik. **Nilai PSV arteri ekstremitas inferior yang dilaporkan dalam literatur bervariasi antara 45-180 cm/s. Ada penelitian yang secara**

spesifik menggunakan rentang nilai 80-100 cm/s untuk arteri femoralis, 60-80 cm/s untuk arteri poplitea, dan 40-60 cm/s untuk arteri tibialis. PAD berat pada ekstremitas inferior disertai perubahan pola gelombang *Spectral Doppler* (monofasik dan melebar).<sup>37-42</sup>



**Gambar 2.14.** Gelombang Spectral. Contoh gambar gelombang spectral yang menunjukkan PSV dan EDV<sup>43</sup>

Rasionalitas penggunaan PSV adalah bahwa aliran darah arteri distal ekstremitas kaki yang mengalami iskemik akan lebih lambat dibanding kaki normal. Hasil penelitian dari Laroza et al. juga menunjukkan bahwa semakin rendah nilai PSV, maka semakin tinggi kemungkinan keparahan kaki diabetik. Sehingga PSV dapat dijadikan tes yang cepat dan mudah untuk menilai status vascular kaki pasien, memonitor perkembangan kaki diabetik, menilai derajat iskemik, serta memprediksi penyembuhan kaki diabetik.<sup>13</sup>

Kecepatan aliran cairan dalam suatu saluran dipengaruhi oleh tekanan dan resistensi. Menurut Hukum Poiseuille's, resistensi aliran bergantung pada panjang dan radius saluran, serta kekentalan cairan, yang dihitung menggunakan rumus berikut:<sup>44</sup>

$$R = \frac{8nL}{\pi r^4}$$

Ketika Hukum Poiseuille's digunakan pada vascular, maka resistensi vascular dipengaruhi oleh panjang dan radius vascular serta kekentalan darah. Yang harus diketahui adalah bahwa vascular bukanlah sebuah tabung yang kaku, namun diameternya dapat berubah sesuai stimuli fisiologik. Penelitian oleh Martini et al. (2005), Tsai et al. (2005),

Intaglietta (2009), dan Sriram et al. (2012) menunjukkan bahwa peningkatan hematocrit dan kekentalan darah ringan hingga sedang tidak akan meningkatkan tekanan darah atau resistensi vascular karena adanya efek vasodilatasi kompensatorik. Namun efek vasodilatasi kompensatorik hanya terjadi pada sistem vascular dengan endotel yang sehat. Pada pembuluh darah dengan kerusakan endotelial, peningkatan kekentalan darah tidak akan disertai oleh vasodilatasi kompensatorik sehingga terjadilah peningkatan resistensi vascular dan peningkatan tekanan darah.<sup>44</sup>

Viscositas / kekentalan adalah resistensi aliran yang terjadi karena friksi / gesekan internal. Pada pasien DM, viscositas darah akan meningkat karena penurunan deformabilitas dan agregasi sel darah merah yang lebih tinggi. Selain itu pada pasien DM juga terjadi micro- dan makroangiopati yang mengakibatkan penyempitan pembuluh darah. Penyempitan pembuluh darah ditambah viscositas darah yang tinggi menyebabkan aliran darah menjadi lebih lambat, sehingga mengurangi suplai oksihemoglobin ke jaringan.<sup>45</sup> Peningkatan kekentalan darah juga akan meningkatkan resistensi vascular sistemik dan menurunkan *cardiac output* total.<sup>46</sup>

Penelitian lainnya menunjukkan adanya hubungan antara usia dengan viscositas darah, dimana peningkatan usia berhubungan dengan peningkatan kekentalan darah dan peningkatan konsentrasi fibrinogen dalam plasma.<sup>47</sup>

Tabel dibawah ini akan meringkas faktor-faktor yang mempengaruhi viscositas darah, yang pada akhirnya akan mempengaruhi velocity / kecepatan aliran darah:

**Tabel 2. 2** Faktor-faktor yang mempengaruhi viscositas darah <sup>48</sup>

Usia	Stress
Merokok	Obesitas
Diabetes mellitus	Kontrasepsi oral
Olahraga	Kehamilan
Ketinggian	Duduk lama
Status Hidrasi	Jenis kelamin
Hiperkolesterolemia	Penyakit sickle cell
Hiperglikemia	Microgravity

Hiperlipidemia	Suhu
Hipertensi	Water immersion
Siklus menstruasi	