

Peran Indeks Aterogenik sebagai Penanda Komplikasi pada Diabetes Melitus Tipe 2: Tinjauan Pustaka

Debie Anggraini^{1*}, Meta Zulyati Oktora², Dita Hasni³

¹ Bagian Patologi Klinik, Fakultas Kedokteran Universitas Baiturrahmah, Padang.

² Bagian Patologi Anatomi, Fakultas Kedokteran Universitas Baiturrahmah, Padang.

³ Bagian Farmakologi Klinik, Fakultas Kedokteran Universitas Baiturrahmah, Padang.

E-mail : debieanggraini@fk.unbrah.ac.id

Abstrak

Latar Belakang: Diabetes melitus tipe 2 (DMT2) merupakan penyakit metabolik kronis dengan risiko tinggi terhadap komplikasi makrovaskular dan mikrovaskular. Dislipidemia aterogenik, yang ditandai oleh peningkatan trigliserida dan penurunan HDL-kolesterol, memainkan peran sentral dalam patogenesis komplikasi tersebut. Atherogenic Index of Plasma (AIP), yang dihitung sebagai logaritma rasio trigliserida terhadap HDL-C, telah diusulkan sebagai biomarker sederhana untuk mengevaluasi risiko vaskular pada pasien DMT2. Tujuan: Tinjauan ini bertujuan untuk mengevaluasi peran AIP sebagai penanda prediktif terhadap komplikasi kardiovaskular dan mikrovaskular pada DMT2, berdasarkan bukti-bukti ilmiah terkini. **Metode:** Tinjauan pustaka ini disusun menggunakan pendekatan naratif. Penelusuran literatur dilakukan melalui database PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar dengan kata kunci: “atherogenic index of plasma”, “AIP”, “type 2 diabetes mellitus”, dan “vascular complications”. Artikel yang disertakan merupakan publikasi dalam 10 tahun terakhir, studi manusia, dan berbahasa Inggris atau Indonesia. **Hasil:** Beberapa studi menunjukkan bahwa AIP memiliki korelasi signifikan dengan komplikasi makrovaskular seperti penyakit jantung koroner, serta mikrovaskular seperti nefropati dan retinopati diabetik. Nilai AIP yang tinggi berhubungan dengan peningkatan risiko komplikasi, dan dinamika AIP dapat mencerminkan perubahan risiko secara longitudinal. AIP juga mudah dihitung dari data laboratorium rutin, sehingga berpotensi digunakan secara luas dalam praktik klinis.

Kesimpulan: AIP merupakan biomarker hematologis yang menjanjikan dalam stratifikasi risiko komplikasi pada DMT2. Penggunaannya sebagai alat skrining dan pemantauan risiko klinis perlu didukung oleh penelitian lanjutan dan validasi dalam populasi lokal.

Keywords : Atherogenic Index of Plasma, Diabetes Melitus Tipe 2, Komplikasi Vaskular, Dislipidemia, Biomarker

Abstract

Background: Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is a chronic metabolic disorder associated with a high risk of macrovascular and microvascular complications. Atherogenic dyslipidemia, characterized by elevated triglycerides and reduced high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), plays a central role in the pathogenesis of these complications. The Atherogenic Index of Plasma (AIP), calculated as the logarithm of the triglyceride-to-HDL-C ratio, has emerged as a simple and practical biomarker for assessing vascular risk in T2DM patients. **Objective:** This review aims to evaluate the role of AIP as a predictive marker for cardiovascular and microvascular complications in T2DM, based on the current scientific literature. **Methods:** A narrative literature review was conducted by searching PubMed, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar databases using keywords: “atherogenic index of plasma,” “AIP,” “type 2 diabetes mellitus,” and “vascular complications.” Included articles were limited to human studies, published in English or Indonesian, within the last 10 years.

Results: Multiple studies have demonstrated a significant association between elevated AIP and the risk of macrovascular complications such as coronary artery disease, as well as microvascular complications including diabetic nephropathy and retinopathy. Higher AIP values correlate with greater complication risk, and longitudinal changes in AIP reflect evolving risk profiles. Due to its accessibility and low cost, AIP shows promise as a practical tool for clinical risk stratification. **Conclusion:** AIP is a promising hematologic biomarker for identifying vascular complication risk in T2DM. Its use in clinical screening and long-term monitoring warrants further investigation and validation in diverse populations.

Keywords: Atherogenic Index of Plasma, Type 2 Diabetes Mellitus, Vascular Complications, Dyslipidemia, Biomarker

I. PENDAHULUAN

Diabetes melitus tipe 2 (DMT2) merupakan salah satu masalah kesehatan global yang prevalensinya terus meningkat seiring dengan perubahan gaya hidup dan pola makan masyarakat. Data dari International Diabetes Federation (IDF) tahun 2021 mencatat bahwa lebih dari 537 juta orang di dunia hidup dengan diabetes, dan diperkirakan akan meningkat menjadi 643 juta pada tahun 2030, serta mencapai 783 juta pada tahun 2045 apabila tidak dilakukan intervensi yang efektif^[1]. Indonesia sendiri menempati peringkat kelima tertinggi secara global, dengan estimasi lebih dari 19,5 juta penderita diabetes pada tahun yang sama, mayoritasnya adalah tipe 2^[2]. Kondisi ini tidak hanya menjadi beban kesehatan individu, tetapi juga berdampak signifikan terhadap sistem pelayanan kesehatan dan ekonomi nasional.

DMT2 dikenal sebagai penyakit kronis progresif yang tidak hanya ditandai oleh hiperglikemia, tetapi juga oleh terjadinya komplikasi jangka panjang. Komplikasi tersebut secara umum terbagi menjadi dua kelompok besar, yaitu komplikasi makrovaskular dan mikrovaskular. Komplikasi makrovaskular meliputi penyakit jantung koroner, stroke, dan penyakit arteri perifer, yang secara kolektif menjadi penyebab utama kematian pada pasien diabetes [3]. Sementara itu, komplikasi mikrovaskular meliputi nefropati diabetik, retinopati diabetik, dan neuropati perifer, yang berkontribusi besar terhadap morbiditas, penurunan kualitas hidup, serta beban biaya pengobatan jangka panjang^[4].

Salah satu komponen penting dalam patogenesis komplikasi vaskular tersebut adalah dislipidemia aterogenik, suatu kelainan metabolik yang umum ditemukan pada pasien DMT2. Dislipidemia ini ditandai oleh peningkatan kadar trigliserida (TG), penurunan kadar high-density lipoprotein kolesterol (HDL-C), serta keberadaan

partikel low-density lipoprotein (LDL) kecil dan padat (small dense LDL) yang sangat aterogenik. Kondisi ini dipicu oleh resistensi insulin dan gangguan metabolisme lipid, yang secara sinergis mempercepat proses aterosklerosis dan kerusakan pembuluh darah mikro^[5].

Seiring meningkatnya kebutuhan akan pendekatan individualisasi dalam manajemen diabetes, diperlukan biomarker prediktif yang tidak hanya akurat, tetapi juga sederhana, terjangkau, dan mudah diakses di berbagai tingkat layanan kesehatan. Salah satu parameter yang mulai banyak diteliti adalah Atherogenic Index of Plasma (AIP), yaitu logaritma dari rasio TG terhadap HDL-C ($\log[\text{TG}/\text{HDL-C}]$). AIP telah terbukti mencerminkan keberadaan small dense LDL, dan studi terkini menunjukkan keterkaitannya dengan risiko komplikasi vaskular pada pasien DMT2^[6,7].

Berdasarkan latar belakang tersebut, tinjauan pustaka ini disusun untuk mengevaluasi secara komprehensif peran AIP sebagai biomarker prediktif terhadap komplikasi vaskular pada DMT2, baik makrovaskular maupun mikrovaskular, berdasarkan bukti ilmiah terkini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. DISLIPIDEMIA ATEROGENIK PADA DIABETES MELITUS TIPE 2

Dislipidemia adalah kelainan metabolik yang umum ditemukan pada pasien diabetes melitus tipe 2 (DMT2), dan memainkan peran utama dalam terjadinya komplikasi vaskular. Karakteristik utama dari dislipidemia pada DMT2 adalah hipertrigliseridemia, penurunan HDL-C, dan keberadaan small dense LDL (sdLDL). Kombinasi abnormalitas ini dikenal sebagai dislipidemia aterogenik, yang berkontribusi secara signifikan terhadap proses aterosklerosis dan gangguan mikrosirkulasi^[7].

Dislipidemia pada pasien DMT2 disebabkan oleh resistensi insulin yang memicu peningkatan lipolisis, peningkatan produksi very-low-density lipoprotein (VLDL), serta gangguan dalam pengambilan dan pemrosesan lipoprotein oleh hati dan jaringan perifer^[8]. Akumulasi partikel sdLDL yang sangat kecil dan padat memiliki daya penetrasi tinggi ke dalam dinding vaskular dan sangat rentan mengalami oksidasi, menjadikannya salah satu penyebab utama disfungsi endotel dan pembentukan plak aterosklerotik^[9]. Dislipidemia aterogenik merupakan kelainan metabolik khas yang sering ditemukan pada pasien diabetes melitus tipe 2 (DMT2). Kelainan ini ditandai oleh kombinasi hipertrigliseridemia, penurunan kadar high-density lipoprotein (HDL-C), dan peningkatan partikel low-density lipoprotein (LDL) yang kecil dan padat (small dense LDL). Ketiga komponen ini membentuk pola dislipidemia yang sangat aterogenik, berkontribusi signifikan terhadap progresivitas komplikasi kardiovaskular dan mikrovaskular pada DMT2^[10,11].

Hipertrigliseridemia pada DMT2 terjadi akibat peningkatan sintesis trigliserida di hati yang dipicu oleh tingginya kadar asam lemak bebas dalam sirkulasi. Asam lemak bebas ini dihasilkan melalui lipolisis jaringan adiposa yang tidak terhambat karena resistensi insulin, kondisi khas pada DMT2. Sebagai akibatnya, hati meningkatkan produksi very-low-density lipoprotein (VLDL), suatu lipoprotein kaya trigliserida yang berperan penting dalam perkembangan aterosklerosis^[12].

Selain itu, DMT2 juga ditandai oleh penurunan kadar HDL-C, yang berperan dalam proses reverse cholesterol transport—yakni pengangkutan kolesterol dari jaringan perifer ke hati untuk dieliminasi. Rendahnya HDL-C tidak hanya mempercepat akumulasi kolesterol di dinding pembuluh darah, tetapi juga mencerminkan rendahnya kapasitas

antioksidan dan antiinflamasi dalam sirkulasi^[13].

Salah satu aspek paling aterogenik dari dislipidemia pada DMT2 adalah meningkatnya fraksi small dense LDL (sdLDL). Partikel ini berukuran kecil dan padat, sehingga lebih mudah menembus endotel vaskular dan lebih rentan terhadap oksidasi, yang kemudian memicu proses inflamasi dan pembentukan plak aterosklerotik. Pembentukan sdLDL juga merupakan konsekuensi dari metabolisme VLDL yang terganggu dan rendahnya aktivitas lipoprotein lipase akibat resistensi insulin^[14].

Resistensi insulin merupakan mekanisme kunci yang menghubungkan hiperglikemia dengan disfungsi lipid. Dalam kondisi ini, sel-sel tubuh tidak merespons insulin secara normal, mengakibatkan peningkatan lipolisis, penurunan aktivitas enzim pengatur metabolisme lipid seperti lipoprotein lipase, dan peningkatan aktivitas enzim hati yang mensintesis lipoprotein kaya trigliserida. Hal ini mengarah pada ketidakseimbangan produksi dan pembersihan lipoprotein, menciptakan profil lipid yang sangat pro-aterogenik^[15].

Secara klinis, dislipidemia aterogenik pada DMT2 meningkatkan risiko komplikasi vaskular seperti penyakit jantung koroner, stroke, dan penyakit arteri perifer (makrovaskular), serta nefropati dan retinopati diabetik (mikrovaskular). Aterosklerosis yang dipicu oleh sdLDL dan peradangan vaskular kronis menjadi proses sentral yang mengarah pada kerusakan endotel dan penurunan perfusi organ target. Oleh karena itu, deteksi dini dan kontrol terhadap dislipidemia merupakan langkah krusial dalam pencegahan komplikasi jangka panjang pada pasien DMT2^[16].

2. INDEKS ATEROGENIK (ATHEROGENIC INDEX OF PLASMA / AIP)

Atherogenic Index of Plasma (AIP) merupakan parameter baru yang dihitung dari logaritma rasio trigliserida (TG) terhadap HDL-C ($\log[\text{TG}/\text{HDL-C}]$), keduanya dapat diperoleh dari pemeriksaan profil lipid rutin. AIP merefleksikan ukuran partikel LDL; semakin tinggi nilai AIP, semakin tinggi proporsi sdLDL yang bersifat atherogenik^[14]. Dobiasova (2006) menunjukkan bahwa AIP berkorelasi kuat dengan risiko penyakit kardiovaskular dan dapat menjadi prediktor yang lebih sensitif dibandingkan parameter lipid konvensional^[15].

Interpretasi nilai AIP dibagi menjadi tiga kategori: nilai $<0,11$ menunjukkan risiko rendah, nilai antara $0,11-0,21$ menunjukkan risiko sedang, dan nilai $>0,21$ dikategorikan sebagai risiko tinggi terhadap aterosklerosis^[16]. Keunggulan AIP adalah sifatnya yang sederhana, murah, dan dapat diaplikasikan di berbagai tingkat fasilitas pelayanan kesehatan.

3. HUBUNGAN AIP DENGAN KOMPLIKASI MAKROVASKULAR

Komplikasi makrovaskular merupakan penyebab utama kematian pada pasien diabetes melitus tipe 2, dengan penyakit jantung koroner, stroke, dan penyakit arteri perifer sebagai manifestasi klinis yang paling umum. Mekanisme dasar yang mengarah pada komplikasi ini adalah aterosklerosis, suatu proses kronik yang ditandai oleh disfungsi endotel, akumulasi lipid, dan inflamasi vaskular. Atherogenic Index of Plasma (AIP), yang dihitung dari logaritma rasio trigliserida terhadap HDL-C, telah diusulkan sebagai biomarker yang mencerminkan keberadaan partikel LDL kecil dan padat (small dense LDL), yang sangat berperan dalam perkembangan aterosklerosis^[17].

Studi kohort prospektif oleh Zhou et al. (2021) menunjukkan bahwa AIP merupakan prediktor independen terhadap kejadian kardiovaskular mayor (major adverse cardiovascular events, MACEs) pada pasien DMT2. Dalam penelitian tersebut, individu dengan AIP tinggi memiliki risiko lebih besar mengalami infark miokard nonfatal dan kematian kardiovaskular, bahkan setelah dikontrol terhadap faktor risiko konvensional seperti tekanan darah dan kadar HbA1c.^(2, 18) Hasil ini mengindikasikan bahwa AIP tidak hanya merupakan indikator metabolik, tetapi juga memiliki nilai prognostik dalam penilaian risiko jantung.

4. HUBUNGAN AIP DENGAN KOMPLIKASI MIKROVASKULAR

Selain makrovaskular, DMT2 juga menimbulkan komplikasi mikrovaskular yang signifikan, termasuk nefropati, retinopati, dan neuropati diabetik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa AIP juga berperan dalam prediksi terhadap komplikasi mikrovaskular ini.

Nefropati Diabetik

Studi retrospektif oleh Li et al. (2024) menemukan bahwa AIP berkorelasi positif dengan peningkatan kadar kreatinin serum dan albuminuria, serta berkorelasi negatif dengan laju filtrasi glomerulus (eGFR). Nilai AIP yang tinggi mencerminkan gangguan metabolisme lipid yang berkontribusi terhadap kerusakan endotel glomerulus dan mempercepat progresi nefropati diabetik.^(3,19) Dengan demikian, AIP dapat digunakan sebagai indikator risiko awal terhadap penurunan fungsi ginjal, bahkan sebelum munculnya gejala klinis yang nyata.

Retinopati Diabetik

Retinopati diabetik merupakan komplikasi mikrovaskular utama lain yang dapat menyebabkan gangguan penglihatan permanen. Xu et al. (2022) melaporkan bahwa AIP yang tinggi berasosiasi dengan meningkatnya keparahan retinopati diabetik

pada pasien DMT2. Dalam penelitian tersebut, nilai AUC (area under the curve) AIP untuk mendeteksi retinopati diabetik cukup tinggi (sekitar 0,73), menunjukkan akurasi diagnostik yang cukup baik [4,20]. Ini menunjukkan bahwa AIP tidak hanya relevan dalam penilaian risiko makrovaskular, tetapi juga dapat digunakan dalam deteksi dini terhadap gangguan mikrosirkulasi retina.

Neuropati Diabetik

Berbeda dengan nefropati dan retinopati, bukti yang mengaitkan AIP dengan neuropati diabetik masih terbatas. Studi-studi yang ada menunjukkan hasil yang belum konsisten, dan belum terdapat konsensus yang kuat mengenai nilai prediktif AIP terhadap kejadian neuropati perifer diabetik. Meskipun beberapa penelitian awal menunjukkan kemungkinan korelasi antara AIP dengan indeks keparahan neuropati, namun diperlukan studi dengan desain longitudinal dan jumlah sampel besar untuk mengonfirmasi hubungan tersebut secara lebih meyakinkan [5].

5. KEUNGGULAN, KETERBATASAN DAN POTENSI ARAH PENGEMBANGAN AIP

Atherogenic Index of Plasma (AIP) memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya biomarker potensial dalam stratifikasi risiko vaskular pada pasien diabetes melitus tipe 2 (DMT2). Salah satu keunggulan utama adalah kemudahan perhitungan dan biaya rendah, karena AIP hanya memerlukan dua parameter laboratorium yang umum tersedia dalam profil lipid rutin, yaitu kadar trigliserida (TG) dan HDL-kolesterol (HDL-C). Nilainya dihitung sebagai logaritma rasio TG terhadap HDL-C, sehingga dapat langsung diturunkan dari hasil pemeriksaan rutin tanpa memerlukan pengujian tambahan atau mahal [21].

Selain itu, AIP memiliki korelasi yang kuat dengan keberadaan partikel small dense LDL

(sdLDL)—partikel yang sangat aterogenik dan diketahui berperan dalam progresi aterosklerosis subklinis. Beberapa studi menunjukkan bahwa AIP lebih baik dalam memprediksi risiko kardiovaskular dini dibandingkan dengan parameter lipid konvensional seperti kadar LDL-C total. AIP juga mencerminkan interaksi kompleks antara peningkatan TG dan penurunan HDL, dua fitur khas dari dislipidemia aterogenik pada DMT2 [1,22].

AIP juga dinilai lebih stabil dibandingkan parameter lipid tunggal karena merupakan indeks rasio, yang lebih tahan terhadap variasi biologis sesaat. Hal ini menjadikannya alat yang praktis untuk digunakan dalam skrining populasi berisiko tinggi maupun pemantauan longitudinal pasien dengan DMT2.

Meskipun menjanjikan, AIP juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaannya. Pertama, AIP bukanlah biomarker yang spesifik untuk diabetes; nilai AIP yang tinggi juga dapat ditemukan pada individu dengan sindrom metabolik, obesitas, penyakit hati, atau gangguan metabolik lainnya. Oleh karena itu, interpretasi AIP harus dilakukan dalam konteks klinis yang holistik [23].

Kedua, nilai AIP dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti status gizi, konsumsi alkohol, pola makan tinggi karbohidrat, serta penggunaan obat-obatan seperti statin, fibrat, dan terapi insulin. Faktor-faktor ini dapat menyebabkan fluktuasi nilai TG dan HDL, sehingga mengubah nilai AIP secara signifikan, meskipun risiko klinis aktual mungkin belum berubah [24].

Jika dibandingkan dengan biomarker lain, seperti LDL-C, non-HDL-C, atau *high-sensitivity C-reactive protein* (hsCRP), AIP memiliki keunggulan dalam aspek biaya dan kemudahan, tetapi kalah dalam hal

spesifitas dan nilai prediktif terhadap komplikasi spesifik. LDL-C masih menjadi parameter utama dalam hampir semua panduan pengelolaan dislipidemia, sementara hsCRP mencerminkan inflamasi sistemik yang turut memediasi risiko vaskular. Oleh karena itu, AIP lebih tepat digunakan sebagai pelengkap, bukan pengganti biomarker konvensional.^[7,25]

III. DISKUSI

Dislipidemia merupakan komponen sentral dalam patogenesis komplikasi makrovaskular dan mikrovaskular pada pasien diabetes melitus tipe 2 (DMT2). Profil lipid aterogenik—terutama meningkatnya trigliserida (TG), rendahnya high-density lipoprotein kolesterol (HDL-C), dan terbentuknya small dense low-density lipoprotein (sdLDL)—dikenal sebagai pemicu progresivitas aterosklerosis dan disfungsi endotel. Salah satu indeks yang merefleksikan kondisi dislipidemik tersebut adalah *Atherogenic Index of Plasma* (AIP), yang dihitung sebagai logaritma dari rasio TG terhadap HDL-C ($\log[\text{TG}/\text{HDL-C}]$).

Beberapa studi terbaru menunjukkan bahwa AIP memiliki potensi sebagai biomarker sederhana namun kuat dalam memprediksi komplikasi vaskular pada pasien DMT2. Studi kohort prospektif oleh Zhou et al. (2021) menunjukkan bahwa AIP berkorelasi signifikan dengan kejadian kardiovaskular mayor (*major adverse cardiovascular events/MACEs*), termasuk infark miokard nonfatal dan kematian akibat penyakit jantung, menjadikan AIP sebagai indikator prognostik penting dalam penilaian risiko kardiovaskular jangka panjang pada pasien diabetes.^[21]

Selain komplikasi makrovaskular, AIP juga memiliki keterkaitan yang kuat dengan komplikasi mikrovaskular, khususnya nefropati diabetik. Studi retrospektif oleh Li et al. (2024) menemukan bahwa AIP berhubungan positif dengan kadar kreatinin

serum dan negatif dengan laju filtrasi glomerulus (eGFR), menandakan keterkaitan AIP dengan penurunan fungsi ginjal^[12]. Hal ini diperkuat oleh hasil studi oleh Xu et al. (2022) yang menganalisis lebih dari 4.000 pasien DMT2 dan menemukan bahwa nilai AIP lebih tinggi secara bermakna pada pasien dengan retinopati dan nefropati diabetik. Dalam studi tersebut, area under curve (AUC) AIP mencapai 0,735 untuk mendeteksi komplikasi mikroangiopati, menunjukkan akurasi diagnostik yang cukup baik^[13,26].

Namun, tidak semua penelitian menunjukkan hasil yang konsisten untuk seluruh spektrum komplikasi mikrovaskular. Zhang et al. (2025) melaporkan bahwa AIP memiliki asosiasi bermakna dengan nefropati diabetik tetapi tidak signifikan untuk retinopati atau neuropati^[4]. Hal ini menunjukkan bahwa sensitivitas AIP terhadap komplikasi mikrovaskular mungkin bergantung pada jenis organ target dan faktor-faktor lain seperti durasi diabetes, kontrol glikemik, dan terapi lipid yang sedang dijalani pasien.

Dalam studi longitudinal lainnya oleh Zhang et al. (2024), ditemukan bahwa pasien dengan trajektori AIP yang tinggi (yakni konsisten tinggi dalam jangka waktu pengamatan) memiliki risiko lebih besar mengalami retinopati dan nefropati diabetik dibandingkan dengan kelompok AIP rendah atau menengah^[5]. Hasil ini menunjukkan bahwa AIP tidak hanya bermanfaat dalam penilaian risiko statis, tetapi juga dapat digunakan untuk pemantauan longitudinal, menjadikannya alat klinis yang potensial dalam penatalaksanaan pasien DMT2 secara berkelanjutan.

Keunggulan utama AIP dibandingkan parameter lipid konvensional adalah sifatnya yang mencerminkan ukuran dan densitas LDL partikel, yang merupakan prediktor kuat aterosklerosis subklinis. Selain itu, AIP mudah dihitung dari pemeriksaan lipid rutin, tidak membutuhkan biaya tambahan, dan

dapat diaplikasikan secara luas, termasuk di fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas.^[27]

Meski demikian, AIP memiliki beberapa keterbatasan. Nilainya dapat dipengaruhi oleh kondisi non-diabetik seperti sindrom metabolik, obesitas, dan penyakit hati. Selain itu, belum terdapat konsensus nilai cut-off spesifik AIP untuk populasi Asia atau Indonesia, sehingga interpretasi klinis perlu mempertimbangkan faktor etnis dan kontekstual.^[28]

Secara keseluruhan, temuan-temuan literatur menunjukkan bahwa AIP berpotensi digunakan sebagai penanda awal, pemantau progresivitas, dan alat stratifikasi risiko terhadap komplikasi vaskular pada DMT2, baik makrovaskular maupun mikrovaskular. Namun, diperlukan penelitian prospektif yang lebih besar, khususnya di populasi lokal, untuk memvalidasi peran AIP secara klinis dan menentukan ambang batas yang sesuai.

IV. KESIMPULAN

Atherogenic Index of Plasma (AIP), yang dihitung sebagai logaritma rasio trigliserida terhadap HDL-C, telah terbukti sebagai indikator yang merefleksikan dislipidemia aterogenik secara efektif pada pasien diabetes melitus tipe 2 (DMT2). Berdasarkan hasil literatur yang telah ditinjau, AIP menunjukkan asosiasi yang konsisten dengan berbagai komplikasi vaskular, baik makrovaskular seperti penyakit jantung koroner, maupun mikrovaskular seperti nefropati dan retinopati diabetik.

Keunggulan AIP terletak pada kemudahan penghitungan, biaya rendah, dan ketersediaannya dalam pemeriksaan laboratorium rutin, menjadikannya biomarker yang potensial dalam praktik klinis sehari-hari. Beberapa studi bahkan menunjukkan bahwa dinamika AIP dari

waktu ke waktu (trajektori AIP) dapat mencerminkan evolusi risiko komplikasi, membuka peluang pemanfaatan AIP tidak hanya sebagai alat skrining, tetapi juga sebagai indikator pemantauan longitudinal.

Namun, meskipun AIP menjanjikan, pemanfaatannya secara luas dalam praktik klinis masih menghadapi tantangan. Di antaranya adalah kurangnya nilai cut-off spesifik untuk berbagai populasi, keterbatasan sensitivitas terhadap beberapa jenis komplikasi, dan pengaruh variabel eksternal seperti penggunaan obat dan status metabolik lainnya.

V. REKOMENDASI

Integrasi dalam praktik klinis: AIP dapat dimanfaatkan sebagai alat skrining awal risiko komplikasi vaskular pada pasien DMT2, terutama di fasilitas dengan sumber daya terbatas. Penggunaan AIP disarankan sebagai pelengkap pemeriksaan lipid rutin.

Pemanfaatan untuk monitoring risiko: AIP perlu dievaluasi secara berkala untuk memantau respons terhadap terapi lipid dan sebagai indikator peringatan dini terhadap kemungkinan komplikasi.

Kebutuhan validasi lokal: Diperlukan penelitian lebih lanjut pada populasi Indonesia untuk menentukan nilai ambang (*cut-off*) AIP yang spesifik dan relevan secara klinis, termasuk hubungan dengan kontrol glikemik dan faktor gaya hidup.

Pengembangan algoritma klinis: AIP dapat dikembangkan sebagai bagian dari skor risiko multimodal dalam pengelolaan individual pasien DMT2, dengan menggabungkan parameter metabolik lain seperti HbA1c, tekanan darah, dan fungsi ginjal.

Penelitian longitudinal dan intervensi: Diperlukan studi prospektif berskala besar

untuk mengevaluasi apakah penurunan AIP dapat secara langsung menurunkan insiden komplikasi vaskular, guna menetapkan AIP sebagai biomarker surrogate yang valid.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 10th ed. 2021.
- [2] Kementerian Kesehatan RI. Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018.
- [3] Low Wang CC, Hess CN, Hiatt WR, Goldfine AB. Clinical Update: Cardiovascular Disease in Diabetes Mellitus. *Circulation*. 2016;133(24):2459–502.
- [4] Thomas RL, Halim S, Gurudas S, Sivaprasad S, Owens DR. IDF Diabetes Atlas: A review of studies utilising retinal photography on the global prevalence of diabetes-related retinopathy. *Diabetes Res Clin Pract*. 2019;157:107840.
- [5] Taskinen MR, Boren J. New insights into the pathophysiology of dyslipidemia in type 2 diabetes. *Atherosclerosis*. 2015;239(2):483–95.
- [6] Dobiasova M. AIP–atherogenic index of plasma as a significant predictor of cardiovascular risk: from research to practice. *Vnitr Lek*. 2006;52(1):64–71.
- [7] Zhang J, et al. Trajectories of Atherogenic Index of Plasma and Risk of Microvascular Complications in Type 2 Diabetes. *Lipids Health Dis*. 2024;23:65.
- [8] Taskinen MR, Boren J. New insights into the pathophysiology of dyslipidemia in type 2 diabetes. *Atherosclerosis*. 2015;239(2):483–95.
- [9] Vergès B. Pathophysiology of diabetic dyslipidaemia: where are we? *Diabetologia*. 2015;58(5):886–99.
- [10] Krauss RM. Lipoprotein subfractions and cardiovascular disease risk. *Curr Opin Lipidol*. 2010;21(4):305–11.
- [11] Dobiášová M. AIP–atherogenic index of plasma as a significant predictor of cardiovascular risk: from research to practice. *Vnitr Lek*. 2006;52(1):64–71.
- [12] Niroumand S, Khajedaluae M, Khadem-Rezaiyan M, et al. Atherogenic Index of Plasma (AIP): a marker of cardiovascular disease. *Med J Islam Repub Iran*. 2015;29:240.
- [13] Zhou Y, Zhang M, Zhang J, et al. Atherogenic Index of Plasma and Risk of Cardiovascular Disease in Type 2 Diabetes: A Prospective Cohort Study. *J Diabetes Complications*. 2021.
- [14] Xu H, Wu Y, Zhang J, et al. Association between Atherogenic Index of Plasma and Microvascular Complications in Patients with Type 2 Diabetes. *Diabetol Metab Syndr*. 2022;14(1):69.
- [15] Zhang J, Chen W, Li H, et al. Trajectories of Atherogenic Index of Plasma and Risk of Microvascular Complications in Type 2 Diabetes: A Prospective Cohort Study. *Lipids Health Dis*. 2024;23:65.
- [16] Li X, Wang Y, Zhang S, et al. Atherogenic Index of Plasma Is Associated with Diabetic Kidney Disease in Type 2 Diabetes Mellitus: A Retrospective Study. *Front Endocrinol*. 2024;15:11163926.
- [17] Taskinen MR, Boren J. New insights into the pathophysiology of dyslipidemia in type 2 diabetes. *Atherosclerosis*. 2015;239(2):483–95.
- [18] Adiels M, Olofsson SO, Taskinen MR, Boren J. Overproduction of very low–density lipoproteins is the hallmark of the dyslipidemia in the metabolic syndrome. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2008;28(7):1225–36.
- [19] Barter P, Gotto AM, LaRosa JC, et al. HDL cholesterol, very low levels of LDL cholesterol, and cardiovascular events. *N Engl J Med*. 2007;357(13):1301–10.
- [20] Austin MA, Breslow JL, Hennekens CH, et al. Low-density lipoprotein subclass patterns and risk of myocardial infarction. *JAMA*. 1988;260(13):1917–21.
- [21] Ginsberg HN. Insulin resistance and cardiovascular disease. *J Clin Invest*. 2000;106(4):453–8.
- [22] Krauss RM. Lipoprotein subfractions and cardiovascular disease risk. *Curr Opin Lipidol*. 2010;21(4):305–11.
- [23] Anggraini, D., & Hasni, D. (2021). Early Detection of Hypercholesterolemia in the Elderly. *Jurnal Abdimas Saintika*, 3(2), 7-12.
- [24] Anggraini, D., Yaswir, R., Lillah, L., & Husni, H. (2017). Correlation of Advanced Glycation End Products with Urinary Albumin Creatinin Ratio in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Indonesian Journal of Clinical Pathology and Medical Laboratory*, 23(2), 107-110.
- [25] Oktabelia, L., & Anggraini, D. (2022). Hubungan Kadar Glukosa Darah Puasa Dengan Troponin I Pada Pasien Infark Miokard Akut. *An-Nadaa: Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 9(2), 215-221.
- [26] Anggraini, D., & Zakiyah, N. J. (2024). Risk Factors of Type 2 Diabetes Mellitus in the Elderly. *Nusantara Hasana Journal*, 3(10), 34-40.
- [27] Hasni, D., Ellia, R., Khalila, A. S., & Anggraini, D. (2023). The Relationship Between Diet and Nutritional Status Balance in Adolescents. *Nusantara Hasana Journal*, 3(6), 159-173.
- [28] Putri, B. A., Salsabilla, I., & Anggraini, D. (2024). HUBUNGAN ANTARA KADAR GULA DARAH PUASA DENGAN RISIKO PENYAKIT KARDIOVASKULAR PADA LANSIA. *Journal of Public Health Science*, 1(4).