



Tinjauan Pustaka

Peran Treadmill Stress Test (TMT) Sebagai Alat Skrining Non-invasif untuk Deteksi CAD Signifikan

The Role of Treadmill Stress Test (TMT) as A Non-Invasive Screening Tool for Detecting Significant CAD and Predicting Lesion Location

Savitri Sirait¹, Anna Fuji Rahimah², Cholid Tri Tjahjono²

¹ Program Studi Jantung dan Pembuluh Darah, Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia

² Divisi Vaskular, Departemen Jantung dan Pembuluh Darah, RSUD Dr. Saiful Anwar Provinsi Jawa Timur, Indonesia

Diterima 21 Juli 2025; direvisi 22 September 2025; publikasi 29 Oktober 2026

INFORMASI ARTIKEL

Penulis Korespondensi:

Savitri Sirait, Program Studi Jantung dan Pembuluh Darah, Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya, RSUD Dr. Saiful Anwar Provinsi Jawa Timur, Indonesia

Email:

savitrisirait91@student.ub.ac.id

ABSTRAK

Latar Belakang: Penyakit arteri koroner (CAD) masih menjadi penyebab utama kematian dan morbiditas di seluruh dunia. Diperlukannya metode deteksi dini yang akurat, terjangkau, dan aplikatif di berbagai pelayanan kesehatan. Salah satu pendekatan umum namun tetap relevan adalah *Treadmill Stress Test (TMT)*, yang menilai iskemia miokardial berdasarkan perubahan segmen ST, kapasitas latihan, dan respons fisiologis pasien terhadap stres fisik. Meskipun teknologi pencitraan modern seperti CT angiografi dan ekokardiografi stres menawarkan akurasi yang lebih tinggi, namun keterbatasan biaya, akses yang mudah, dan kebutuhan logistik (meliputi sumber daya manusia dan biaya operasional) menjadikan *TMT* tetap lebih unggul sebagai pilihan awal, terutama di populasi risiko rendah hingga sedang. Selain itu, pola deviasi EKG yang muncul pada lead tertentu selama *TMT* dapat memberikan petunjuk terhadap lokasi anatomi lesi arteri koroner.

Tujuan: Kajian ini bertujuan menelaah peran *TMT* sebagai alat skrining non-invasif dalam mendeteksi stenosis koroner signifikan ($\geq 50\%$) serta mengevaluasi kemampuannya dalam memperkirakan lokasi lesi pada arteri utama. Data dikaji dari studi-studi yang membandingkan kinerja *TMT* dengan angiografi koroner invasif.

Kesimpulan: *TMT* menunjukkan nilai prediktif negatif yang tinggi (hingga 90%) dalam menyingkirkan CAD signifikan, menjadikannya alat skrining yang efisien untuk populasi risiko rendah hingga menengah. Sensitivitas dan spesifisitasnya masing-masing berkisar antara 60–75% dan 70–85%, tergantung protokol dan karakteristik pasien. Identifikasi pola ST pada lead anterior dan inferior membantu memprediksi keterlibatan arteri koroner spesifik. Dengan keunggulan biaya, aksesibilitas, serta nilai prognostik fungsional, *TMT* tetap menjadi alat skrining yang penting dan relevan dalam era kedokteran modern.

Kata Kunci: Uji latihan Jantung, Penyakit Arteri Koroner, Angiografi Koroner

ABSTRACT

Background: Coronary artery disease (CAD) remains the leading cause of morbidity and mortality worldwide, underscoring the need for early detection methods that are accurate, cost-effective, and applicable across all levels of healthcare. The Treadmill Stress Test (TMT) is one of the most commonly used and still relevant modalities, evaluating myocardial ischemia through ST-segment changes, exercise capacity, and physiological responses to physical stress. Although coronary CT angiography and stress echocardiography offer higher diagnostic accuracy, their cost, limited accessibility, and logistical demands, including human resources and operational expenses, make TMT a preferable initial screening tool, especially in low-to-intermediate risk populations. Specific ST-segment deviations in certain electrocardiogram (ECG) leads during TMT may also indicate the anatomical location of coronary artery lesions.



Objective: This review examines the role of TMT as a non-invasive screening tool for detecting significant coronary stenosis ($\geq 50\%$) and evaluates its ability to predict lesion location within the major coronary arteries, based on studies comparing the diagnostic performance of TMT with invasive coronary angiography.

Conclusion: TMT demonstrates a high negative predictive value, up to 90%, for excluding significant CAD, making it an effective screening modality for low-to-intermediate risk individuals. Its sensitivity and specificity generally range from 60–75% and 70–85%, respectively, depending on patient characteristics and testing protocols. ST-segment patterns in anterior and inferior leads help predict the involvement of specific coronary vessels. Given its affordability, accessibility, and ability to provide functional and prognostic information, TMT remains a valuable and relevant screening tool in modern clinical cardiology.

Keywords: Treadmill Stress Test (TMT), Coroangiography, Coronary Artery Disease

PENDAHULUAN

1. Relevansi *TMT* dalam Deteksi Dini Penyakit Arteri Koroner (*CAD*)

Penyakit arteri koroner (*coronary artery disease/CAD*) merupakan penyebab kematian tertinggi di seluruh dunia dan menyumbang beban penyakit yang besar, baik dari segi mortalitas maupun morbiditas. *CAD* merupakan manifestasi klinis dari aterosklerosis koroner yang mengakibatkan penyempitan atau sumbatan arteri yang menyuplai darah ke otot jantung. Semakin bertambah usia, semakin meningkat. Suatu *CAD* stabil muncul dari ketidakseimbangan reversibel antara kebutuhan dan pasokan oksigen miokard akibat iskemia atau hipoksia, yang dapat dipicu oleh aktivitas fisik, perubahan emosional, atau faktor lain yang kadang muncul spontan; pasien dikategorikan menjadi tiga kelompok: 1) mereka dengan angina pectoris stabil atau keluhan kardiak lain seperti dispnea; 2), pasien berisiko yang pernah bergejala—dengan atau tanpa obstruksi koroner terdeteksi—yang kini asimtomatik namun memerlukan tatalaksana dan pemantauan rutin; dan 3), pasien yang menyampaikan gejala untuk pertama kalinya, dianggap memiliki kondisi kronis yang stabil.^[1]

Identifikasi dini *CAD*, khususnya pada pasien dengan gejala angina stabil, terutama pada mereka yang berisiko sedang hingga tinggi, sangat penting untuk mencegah komplikasi jangka panjang. Bila tidak dideteksi dan ditangani secara dini, kondisi ini dapat berujung pada kejadian infark miokard akut, gagal jantung, aritmia, dan kematian mendadak. Dalam upaya deteksi ini, berbagai metode diagnostik telah tersedia, baik yang bersifat invasif seperti *coronary angiography (CAG)*, maupun non-invasif seperti CT coronary angiography, myocardial perfusion imaging (MPI), dan stress testing. Di antara berbagai metode diagnostik non-invasif, uji latihan jantung dengan menggunakan *treadmill* yang dikenal se-

bagai *Treadmill Stress Test (TMT)* banyak dimanfaatkan sebagai uji penapisan *CAD* stabil dan tetap menjadi pilihan utama karena biayanya murah, tersedia secara luas, mudah diakses, efektif, dan tidak memerlukan peralatan kompleks.^[2]

TMT dilakukan dengan memantau respons jantung terhadap stres fisik melalui pencatatan elektrokardiogram (EKG), tekanan darah, dan gejala klinis selama aktivitas berjalan di atas treadmill. Salah satu aspek diagnostik utama dalam *TMT* adalah pengamatan terhadap perubahan segmen ST pada EKG, yang merupakan indikator iskemia miokard yang berkorelasi dengan keberadaan dan lokasi lesi koroner yang signifikan.^[1]

Tes *treadmill* dianggap menunjukkan hasil positif apabila pasien mengalami angina tipikal yang berkaitan dengan aktivitas fisik atau ditemukan perubahan EKG yang mencerminkan gambaran iskemia seperti depresi segmen ST berbentuk horizontal atau *downsloping* >1 mm). Meskipun demikian, penggunaan *treadmill* sebagai alat skrining untuk *CAD* stabil memiliki sejumlah keterbatasan, terutama dalam hal akurasi diagnostiknya.^[2]

Tujuan *TMT* adalah untuk mendeteksi adanya kelainan pada arteri koroner serta sebagai referensi untuk pengambilan keputusan perlu tidaknya dilakukan pemeriksaan *koronariografi*. *Coronary angiography* telah menjadi *gold standart* dalam identifikasi dan evaluasi penyumbatan pada pembuluh darah koroner. Pemeriksaan ini memberikan gambaran yang jelas mengenai lokasi, derajat keparahan, dan karakteristik sumbatan, yang menjadi informasi penting dalam menentukan pilihan terapi yang optimal, seperti tindakan *angioplasty* atau operasi *bypass* arteri koroner serta dapat memberikan informasi *prognostic* bagi pasien. Namun, ini merupakan tindakan *invasive* yang berisiko seperti cedera pada pembuluh darah, perdarahan yang berlebihan, serangan jantung dll, sehingga treadmill

tetap dipilih sebagai prosedur yang aman dan *non-invasive* untuk mendeteksi *CAD*.^{[3],[4]}

Aterosklerosis merupakan dasar mekanisme penyakit jantung koroner (PJK) yang dapat dicetuskan oleh berbagai macam faktor risiko PJK. Progresi aterosklerosis akan menyebabkan obstruksi pada arteri koroner, sehingga dapat menimbulkan manifestasi klinis berupa nyeri dada (angina) atau tetap asimtomatik. Untuk memastikan apakah terdapat lesi koroner yang signifikan dan menyebabkan iskemia, pasien yang dicurigai mengalami penyempitan koroner akan menjalani pemeriksaan berupa uji latihan jantung.

Secara konseptual, pelaksanaan uji latihan jantung didasari oleh dua konsep utama. Konsep pertama bersifat fisiologis, di mana dalam keadaan normal, penyerapan oksigen (VO_2) oleh jaringan berlangsung sesuai dengan kebutuhan metabolik masing-masing, termasuk pada jaringan otot jantung (miokard). Selama aktivitas fisik seperti uji latihan, metabolisme otot akan meningkat dan menyebabkan naiknya kebutuhan oksigen, yang kemudian akan diikuti oleh peningkatan pengambilan oksigen dari seluruh tubuh. Akibatnya, tubuh akan meningkatkan serapan oksigen guna memenuhi kebutuhan energi yang meningkat selama latihan. Respons sistem kardiovaskular terhadap latihan melibatkan peningkatan denyut jantung dan tekanan darah, yang terjadi sebagai hasil dari aktivasi sistem saraf simpatis dan inhibisi terhadap saraf parasimpatis. Hal ini akan berujung pada peningkatan curah jantung demi mencukupi kebutuhan metabolik jaringan.

Prinsip kedua berkaitan dengan kondisi patologis, yaitu apabila terdapat penyempitan signifikan pada arteri koroner. Hal ini dapat mengganggu keseimbangan antara suplai darah dan kebutuhan oksigen miokard. Dalam uji latihan, kondisi ini bisa dikenali dari munculnya keluhan angina secara subjektif, serta adanya perubahan pada rekaman jantung yang menunjukkan

respons iskemik. Iskemia yang terjadi dapat menurunkan fungsi pompa jantung, sehingga curah jantung menurun dan durasi latihan fisik menjadi lebih singkat. Berbagai perubahan yang terjadi selama *TMT* menjadi dasar perhitungan skor Duke Treadmill Score (DTS). Nilai DTS diperoleh dari waktu total latihan dikurangi lima kali nilai deviasi segmen ST, kemudian dikurangi empat kali skor angina yang muncul selama tes.

Dengan demikian, secara umum DTS dapat membantu mendeteksi keberadaan lesi koroner yang signifikan. Meskipun demikian, penelitian dari berbagai wilayah menunjukkan adanya variasi nilai potong DTS yang dianggap efektif sebagai prediktor lesi koroner yang signifikan.^[2]

2. Akurasi Diagnostik *TMT* dalam Mendeteksi *CAD* Signifikan

TMT telah lama digunakan sebagai metode skrining untuk deteksi *CAD*. Sebuah meta-analisis klasik oleh Gianrossi, et al. meneliti lebih dari 24.000 individu dan menunjukkan bahwa *TMT* memiliki sensitivitas dan spesifisitas masing-masing berkisar antara 60–75% dan 70–85%.^[5]

Hal ini berarti bahwa meskipun bukan metode dengan akurasi tertinggi, *TMT* tetap memberikan nilai klinis yang signifikan, terutama ketika digunakan secara selektif pada pasien dengan risiko menengah. Nilai diagnostik *TMT* meningkat jika dikombinasikan dengan variabel klinis lainnya. Sebagai contoh, Duke Treadmill Score (DTS) merupakan indeks yang menggabungkan durasi latihan, derajat depresi ST, dan gejala angina. Skor ini memprediksi mortalitas dan risiko kejadian kardiovaskular, serta membantu memutuskan kebutuhan evaluasi lanjutan atau intervensi invasif.^[6]

Studi-studi lain mendukung penggunaan *TMT* sebagai alat skrining awal dalam sistem kesehatan dengan sumber daya terbatas. Di negara berkembang, *TMT* sering menjadi satu-satunya modalitas diag-

nostik sebelum dilakukan angiografi koroner invasif. Oleh karena itu, pengetahuan yang mendalam mengenai interpretasi ST changes sangat krusial bagi klinisi. [7]

TREADMILL STRESS TEST (TMT) PROFILE

Definisi

Treadmill Stress Test (TMT), juga dikenal sebagai *exercise stress test* atau *cardiac stress test*. Dalam bahasa Indonesia, uji latih jantung dikenal sebagai prosedur diagnostik yang digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik fungsi jantung selama aktivitas fisik.

Treadmill Stress Test (TMT) adalah sesuatu yang berharga dalam rehabilitasi jantung karena beberapa alasan.

1. Sebagai Diagnostik
 - a. Mendeteksi Penyakit Arteri Koroner (*Coronary Artery Disease/CAD*) atau
 - b. Penilaian Gejala
2. Menilai Prognosis
 - a. Stratifikasi Risiko
 - b. Kapasitas Latihan
3. Tindak lanjut program Latihan:
 - a. Program latihan fisik yang disesuaikan
 - b. Evaluasi berkala terhadap kemajuan pasien

Indikasi

1. Mengidentifikasi penyakit jantung koroner (PJK) atau *Coronary Artery Disease (CAD)* pada individu yang menunjukkan gejala/tanda yang mengarah pada PJK.
2. Menentukan tingkat keparahan penyakit jantung koroner yang diderita.
3. Melakukan prediksi terhadap prognosis atau mengelompokkan risiko terjadinya peristiwa kardiovaskular maupun kematian.
4. Menilai daya tahan fisik serta kemampuan tubuh dalam menjalankan suatu aktivitas.
5. Meninjau dan menganalisis keluhan yang muncul berkaitan dengan suatu aktivitas fisik maupun latihan
6. Mengkaji dampak dari terapi atau tindakan medis yang telah diberikan.
7. Menilai kemampuan jantung dalam meningkatkan denyutnya (kompetensi kronotropik), potensi terjadinya aritmia, serta respons terhadap terapi atau prosedur untuk mengatasi aritmia.
8. Aplikasi tambahan lainnya termasuk pembuatan program latihan fisik, evaluasi terhadap respons tubuh terhadap latihan dan pengobatan, penentuan tingkat disabilitas secara fungsional, hingga penilaian risiko tindakan operasi non-jantung (bedah non-kardiak).
9. Evaluasi sinkop yang tidak dapat dijelaskan pada pasien dengan risiko *CAD* sedang hingga tinggi

Tabel 1. Kontraindikasi TMT

Kontraindikasi mutlak	Kontraindikasi relatif
• Terjadi infark miokard akut dalam dua-tiga hari pertama. • Angina pektoris yang tidak stabil, masih berlangsung, atau dinilai memiliki risiko tinggi. • Aritmia yang tidak terkendali dan menyebabkan gejala atau gangguan pada stabilitas hemodinamik. • Stenosis katup aorta berat, yang menunjukkan gejala (simptomatik). • Diseksi aorta dalam fase akut. • Peradangan akut pada jantung seperti miokarditis, perikarditis, atau endokarditis aktif, serta infeksi akut lainnya. • Gagal jantung yang belum stabil atau belum mendapatkan <i>control</i> yang adekuat • Emboli paru, infark pada paru, atau trombosis vena dalam yang masih akut. • Gangguan mental atau fisik serta kondisi medis lainnya yang menghambat pelaksanaan uji latih jantung secara aman, atau berisiko memperparah kondisi pasien jika dilakukan.	• Ditemukannya stenosis pada arteri koroner utama kiri (left main) atau kondisi serupa. • <i>LBBB complete</i> • Stenosis sedang hingga berat pada katup aorta, meskipun tidak menimbulkan gejala. • Takiaritmia dengan laju ventrikel yang tidak terkontrol. • Blok atrioventrikular tingkat dua atau tiga. • Hipertensi sistemik berat, yaitu tekanan darah diastolik (TDD) >110 mmHg atau sistolik (TDS) >200 mmHg saat istirahat. • Kardiomiopati hipertrofik dengan hambatan yang sangat signifikan pada jalur keluar ventrikel kiri (LVOT obstruction). • Riwayat stroke atau serangan iskemik sementara (TIA) yang baru saja dialami. • Mengalami hipertensi pulmonal yang tergolong berat. • Penggunaan alat pacu jantung dengan frekuensi tetap (<i>fixed-rate pacemaker</i>). • Masalah mental atau fisik serta kondisi medis tertentu yang membuat pelaksanaan <i>TMT</i> menjadi tidak aman atau tidak dapat dilakukan dengan baik.

Diadaptasi dari *Treadmill Stress Testing* oleh Vilcant V, et al. *Exercise stress testing: Indications and common questions* oleh Garner K, et al. *Comparison of Predicted Significant Coronary Lesion by Duke Treadmill Score among Coronary Heart Disease Risk Factors in Patients with Positive Ischemic Response Treadmill Test* oleh Rubiyaktho D, et al.^{[2][8][9]}

Kontraindikasi

Uji latih jantung sebaiknya tidak dilakukan apabila kondisi pasien berisiko tinggi mengalami bahaya, karena dapat memperburuk keadaan medis yang sudah ada, atau jika pelaksanaannya tidak optimal dan manfaat yang diperoleh sangat minimal. Untuk kondisi yang masuk dalam kategori kontraindikasi relatif, pelaksanaan uji latih

harus dipertimbangkan secara cermat dengan menilai keseimbangan antara potensi manfaat dan risiko yang mungkin terjadi.

Pemeriksaan Sebelum Tindakan Anamnesis dan Riwayat Penyakit

- Data identitas peserta uji latih.
- Apakah terdapat keluhan nyeri dada khas seperti angina pektoris, atau nyeri dada yang tidak spesifik (untuk membantu menilai probabilitas awal sebelum tes, serta menentukan indikasi dan kontraindikasi).
- Apakah pasien mengalami keluhan baru, atau keluhan lama yang semakin memburuk.
- Adakah riwayat infark miokard sebelumnya, baik yang baru terjadi maupun yang sudah lama, serta riwayat tindakan revaskularisasi.
- Riwayat gagal jantung, termasuk terapi atau prosedur yang pernah dijalani.
- Keberadaan faktor risiko penyakit jantung dan pembuluh darah, serta gangguan paru-paru.
- Apakah pasien pernah mengalami stroke, dan bagaimana kemampuan fisiknya saat ini.
- Riwayat aritmia, pingsan (sinkop), henti jantung mendadak (sudden death), kardioversi, atau tindakan resusitasi sebelumnya.
- Apakah terdapat cedera atau gangguan pada tungkai yang bisa menghambat pergerakan saat pelaksanaan uji latih jantung.
- Obat-obatan apa saja yang sedang dikonsumsi saat ini.
- Aktivitas harian atau kapasitas fisik pasien dalam keseharian untuk menilai tingkat kebugarannya.

Pemeriksaan menyeluruh

- Pengukuran berat badan dan tinggi badan.
- Evaluasi *blood pressure* dan *heart rate*.
- Pemeriksaan kondisi fisik sistem kardiovaskular (jantung) dan sistem respirasi (pernapasan).
- Penilaian kemampuan gerak tungkai.

- Perhitungan denyut nadi maksimal berdasarkan umur, misalnya dengan rumus $220 - \text{umur (tahun)}$, serta perhitungan denyut nadi submaksimal, yaitu sekitar 85% dari nilai denyut nadi maksimal.
- Perekaman EKG perlu dilakukan jika sebelumnya belum pernah dilakukan, atau jika terdapat dugaan perubahan kondisi yang membutuhkan penilaian lebih lanjut. Jika tersedia EKG sebelumnya, maka hasil baru sebaiknya dibandingkan dengan rekaman tersebut.

Pemantauan Selama Pelaksanaan TMT

Selama pelaksanaan *Treadmill Stress Test* berlangsung hingga selesai, pasien harus diawasi secara terus-menerus melalui observasi yang cermat serta komunikasi dua arah yang efektif. Tujuannya adalah untuk memperoleh informasi kondisi pasien baik secara subjektif maupun objektif. Aspek-aspek kunci yang wajib diperhatikan meliputi hal-hal berikut:

1. Keluhan yang disampaikan pasien beserta tingkat keparahannya.
2. Perubahan dalam parameter hemodinamik.
3. Tanda-tanda fisik, seperti berjalan ter-pincang-pincang, kehilangan keseimbangan, tubuh tampak lemah, wajah pucat, atau menunjukkan tanda-tanda nyeri dan kelelahan.
4. Pemantauan rekaman EKG di monitor, khususnya untuk mendeteksi aritmia atau perubahan segmen ST.^[2]

Penghentian TMT

Menghentikan pelaksanaan *TMT* merupakan bagian penting dari proses pengawasan selama tes berlangsung. Keputusan ini umumnya sangat ditentukan oleh tujuan pelaksanaan *TMT*, serta didasarkan pada evaluasi klinis dan pertimbangan terhadap kondisi pasien. Dalam praktiknya, *TMT* biasanya dihentikan apabila muncul keluhan tertentu pada pasien.

Indikasi absolut untuk menghentikan TMT:

- Dugaan atau adanya infark miokard akut.
- Nyeri dada/angina pektoris dengan intensitas sedang hingga berat.
- Terjadi elevasi segmen ST ≥ 1 mm pada sadapan tanpa gel. Q patologis (tidak termasuk sadapan aVR, aVL, dan V1).
- Penurunan tekanan darah sistolik lebih dari 10 mmHg dari nilai saat istirahat, bersamaan dengan gejala iskemia; atau penurunan ≥ 20 mmHg setelah sebelumnya terjadi peningkatan tekanan sistolik.
- Gangguan irama jantung berat, seperti *Second-Degree AV Block* atau *Third-Degree AV Block*, *Ventricular Tachycardia*, dan juga *Ventricular Fibrillation*.
- Muncul gejala hipoperfusi seperti kulit pucat, berkeringat dingin, atau sianosis.
- Gejala gangguan neurologis: pusing, pandangan menghitam, nyeri kepala, atau kesulitan melangkah.
- Masalah teknis selama tes, seperti gangguan pada alat treadmill/ergocycle, monitor EKG tidak terbaca, atau tekanan darah tidak bisa diukur.
- Permintaan dari pasien untuk menghentikan tes.

Indikasi relatif penghentian TMT:

- Depresi segmen ST lebih dari 2 mV (baik horizontal maupun downsloping), adanya perubahan pada kompleks QRS atau arah aksis.
- Timbul nyeri dada yang memburuk atau semakin intens.
- Sesak napas, rasa lelah berlebih, muncul wheezing, nyeri otot tungkai, atau keluhan klaudikasio.
- Tekanan darah sistolik mencapai ≥ 230 mmHg atau tekanan diastolik ≥ 115 mmHg.
- Penurunan tekanan sistolik lebih dari 10 mmHg dibandingkan nilai istirahat, disertai bukti klinis iskemia.

- Muncul aritmia yang berisiko menimbulkan gangguan hemodinamik meskipun bukan fibrilasi atau takikardia ventrikel, seperti *multifocal PVC*, triplet PVC, takikardia supraventrikel, bradiaritmia, atau *AV block* selain derajat 2 dan 3, yang cenderung menjadi lebih berat dan memengaruhi hemodinamik.
- Terjadinya blok cabang berkas (*bundle branch block*) atau gangguan konduksi intraventrikular lain yang menyulitkan dalam membedakannya dengan *ventricular tachycardia*.

Kriteria Normal TMT: ^[10]

1. ECG normal

Tidak ada respons abnormal pada klinis, hemodinamik ECG, dan pasien dapat melakukan TMT dalam jangka waktu yang memadai sesuai usia dan tingkat kebugaran. Laju jantung pasien mencapai 85 % dari prediksi laju jantung maksimal.

2. ECG ST- Depresi yang upsloping
Depression and the rapid upsloping ST-segment merupakan respon normal pada HR yang meningkat.

Kriteria Iskemia Miokard Positif:

1. Depresi segmen ST ≥ 1 mm di bawah garis isoelektrik dengan pola horizontal atau downsloping, yang terjadi 60 milidetik dari J poin
2. Depresi segmen ST ≥ 1.5 mm di bawah garis isoelektrik dengan pola upsloping, yang terjadi 80 milidetik dari J poin
3. Elevasi segmen ST (serta elevasi J poin) ≥ 1 mm dari garis isoelektrik pada 80 milidetik dari J poin
4. Elevasi segmen ST di sadapan aVR, yang dianggap ekuivalen dengan depresi segmen ST dengan pola horizontal

Kriteria sugestif Iskemia miokard :

1. Depresi segmen ST horizontal atau downsloping antara 0,5 hingga 1 mm di

bawah garis isoelektrik pada 60 milidetik dari *J-point*.

2. Depresi segmen ST upsloping lebih dari 0.7 mm dan kurang dari 1.5 mm di bawah garis isoelektrik pada 80 milidetik dari *J point*
3. Elevasi segmen ST (dengan elevasi *J point*) antara 0.5 mm - 1 mm
4. *Exercise-induced hypotension*
5. Nyeri dada menyerupai angina ketika latihan fisik
6. Munculnya ektopik ventrikel dengan derajat tinggi, terutama bila terjadi saat beban kerja masih ringan pada uji latih.

Kriteria tambahan yang mungkin dapat mendukung diagnosis iskemia miokard:

1. Terjadinya peningkatan amplitudo gelombang R pada saat denyut jantung meningkat
2. Muncul gelombang T yang tinggi pada sadapan V2 dan V3 selama pelaksanaan uji latih.
3. Depresi segmen ST yang makin dalam pada denyut prematur ventrikular (PVC) saat uji latih
4. Depresi segmen ST kurang dari 1 mm tetapi depresi segmen ST/Tingginya gelombang R > 0,1 atau positif bila dihitung dengan ST Heart Rate Index

Skor Duke Treadmill digunakan untuk memperkirakan adanya penyempitan (*stenosis*) di arteri koroner.

Duke Treadmill Score (DTS) dikenal sebagai salah satu metode untuk menilai prognostik yang mampu mengelompokkan pasien berdasarkan tingkat risiko serta memprediksi angka kematian pada penyakit arteri koroner (*CAD*). Selain memiliki peran prognostik, DTS juga telah diuji sebagai alat bantu diagnosis *CAD* dan terbukti memiliki kemampuan prediksi yang cukup baik dan membantu para klinisi dalam menentukan rencana kateterisasi/angiografi koroner. Skor ini memiliki korelasi yang kuat dengan derajat keparahan lesi koroner, sebagaimana

diukur dengan *Syntax Score*. DTS yang berisiko sedang maupun tinggi memiliki nilai *syntax* yang lebih besar juga.

Komponen skornya berupa durasi *TMT*, perubahan segmen ST dan tingkat keparahan angina yang muncul selama latihan berlangsung.

DTS = lama waktu tes (menit) – (5x perubahan segmen ST) – (4x skor angina)

Lama waktu tes = total waktu (menit) dari awal mulai hingga dihentikan (dengan protokol Bruce)

Perubahan segmen ST = perubahan/deviasi segmen ST (elevasi atau depresi) yang paling signifikan dibandingkan nilai awal.

Skor Angina :

0 = tidak timbul angina

1 = Timbul angina, tetapi tidak menyebabkan penghentian latihan

2 = Angina berat hingga latihan dihentikan

Untuk *TMT* dengan *protocol* lain maka nilai waktu bisa dikonversi ke *protocol* Bruce menggunakan rumus:

Waktu (menit) setara Protokol Bruce = {Mets dari protokol lain} + 2.2) x 1.3

Tabel 2 Penilaian Prognostik Skor Duke

DTS	Resiko	Survival 5 thn
>5	Rendah	97
- 10 s/d 4	Sedang	91
< -11	Tinggi	72

(Diadaptasi dari *Comparison of Predicted Significant Coronary Lesion by Duke Treadmill Score among Coronary Heart Disease Risk Factors in Patients with Positive Ischemic Response Treadmill Test* oleh Rubiyaktho D, et al).^[2]

Penyakit arteri koroner (*CAD*) dikatakan signifikan/bermakna apabila terjadi penyempitan sebesar $\geq 70\%$ pada ≥ 1 pembuluh koroner utama seperti *Left Anterior Descending (LAD)*, *Left Circumflex (LCx)*, atau *Right Coronary Artery (RCA)*. Sementara itu, bila terdapat penyempitan $\geq 50\%$ pada arteri Left Main (LM) atau bagian proksimal *LAD*, maka kondisi tersebut juga dianggap bermakna secara klinis.^[11]

Hasil pemeriksaan angiografi koroner biasanya mengelompokkan pasien ke dalam tiga kategori: tidak signifikan (tidak ditemukan stenosis atau hanya penyempitan minimal), *CAD* signifikan (stenosis bermakna pada satu atau dua pembuluh darah), serta *CAD* berat (penyakit multi-vessel atau stenosis dua pembuluh yang melibatkan bagian proksimal dari Left Anterior Descending dan/atau Left Main).^[12]

Secara keseluruhan, pemeriksaan treadmill memiliki keterbatasan dalam mendeteksi keberadaan *CAD*. Namun demikian, uji ini secara rata-rata menunjukkan tingkat sensitivitas sebesar 68%, spesifisitas 77%, dan akurasi diagnostik mencapai 73% dalam mengidentifikasi *CAD* yang signifikan.

Rekomendasi	Kelas	Tingkat
EKG latihan direkomendasikan pada pasien tertentu untuk menilai toleransi latihan, gejala, aritmia, respons tekanan darah, dan risiko suatu kejadian.	I	C
EKG latihan dapat dipertimbangkan sebagai tes alternatif untuk mendiagnosis dan menyingkirkan PJK ketika tes pencitraan non-invasif tidak tersedia.	IIb	B
Latihan EKG dapat dipertimbangkan untuk menyempurnakan stratifikasi risiko dan pengobatan.	IIb	B
Pada individu dengan kemungkinan PJK obstruktif pra-tes yang rendah (>5%-15%), EKG latihan dapat dipertimbangkan untuk mengidentifikasi pasien yang pemeriksaan lebih lanjutnya dapat ditunda.	IIb	C
EKG latihan tidak direkomendasikan untuk tujuan diagnostik pada pasien dengan depresi segmen ST $\geq 0,1$ mV pada EKG istirahat, LBBB, atau yang sedang menjalani terapi digitalis.	III	C
Pada individu dengan kemungkinan pra-tes <i>CAD</i> obstruktif rendah atau sedang (>5%-50%), EKG latihan tidak disarankan untuk menyingkirkan <i>CAD</i> jika tes CCTA atau pencitraan fungsional tersedia.	III	C
<i>CAD</i> : Coronary Artery Disease <i>CCTA</i> : Coronary Computed Tomography Angiography EKG: Elektrokardiogram LBBB: Left Bundle Branch Block PJK: Penyakit Jantung Koroner		

Gambar 1 Rekomendasi Exercise ECG (diadaptasi dari *ESC guidelines for the management of chronic coronary syndromes*, oleh Vrints C, et al).^[13]

PEMBAHASAN

1. Dasar Fisiologis: Mengapa ST Segment Penting?

Segmen ST pada EKG menggambarkan fase awal repolarisasi ventrikel setelah terjadinya depolarisasi. Dalam kondisi normal, segmen ini *isoelectric* dan berada sejajar dengan garis dasar (baseline). Perubahan segmen ST, terutama dalam bentuk depresi horizontal atau downsloping, merupakan indikator klasik adanya iskemia subendokardial akibat ketidakseimbangan antara kebutuhan oksigen dan pasokan oksigen pada jaringan miokard.

Selama latihan fisik, kebutuhan oksigen oleh otot jantung meningkat secara signifikan. Bila terjadi stenosis pada satu atau lebih arteri koroner, suplai darah tidak mampu memenuhi kebutuhan ini, yang menyebabkan iskemia regional. Iskemia inilah yang tercermin dalam EKG sebagai perubahan *segment ST*, umumnya berupa depresi ≥ 1 mm pada dua atau lebih lead kontinu, yang terjadi 60–80 milidetik setelah titik J.

Depresi ST horizontal dan downsloping dianggap lebih spesifik dibandingkan *upsloping*, karena yang terakhir lebih sering terjadi secara fisiologis tanpa ada iskemia. Selain itu, keparahan iskemia berkorelasi dengan kedalaman dan durasi perubahan ST. Semakin cepat muncul, semakin luas distribusinya, dan semakin lama waktu pemulihannya setelah latihan, maka semakin besar kemungkinan adanya CAD signifikan.

Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa pasien dengan ST *segment depression* ≥ 2 mm, onset dalam 3 menit pertama latihan, dan durasi pemulihan lebih dari 5 menit memiliki kemungkinan tinggi mengalami CAD multivessel. Keberadaan ST elevation di lead aVR atau V1 juga dihubungkan dengan lesi kritis pada left main disease.^[14]

Perubahan segmen ST yang muncul selama fase pemulihan setelah latihan menunjukkan signifikansi klinis yang penting. Hal ini mengindikasikan bahwa deviasi segmen ST pada masa *recovery* memiliki nilai diagnostik

yang sebanding dengan deviasi segmen ST yang terjadi selama aktivitas fisik.^[2]

2. Korelasi TMT Positif dengan Lokasi dan Derajat Lesi pada CAD

Selain mendeteksi keberadaan CAD, TMT juga memberikan informasi tentang lokasi kemungkinan lesi berdasarkan pola perubahan ST. Studi oleh Detry dan rekan-rekannya menunjukkan bahwa depresi ST pada lead V1–V4 sering kali berhubungan dengan iskemia di wilayah anterior dan lesi di arteri LAD. Sedangkan depresi pada lead II, III, dan aVF lebih menunjukkan keterlibatan arteri koroner kanan (RCA), dan lead V5–V6 serta I dan aVL berkaitan dengan arteri sirkumflekta (LCx).^[15]

Hubungan ini tidak bersifat mutlak, namun dapat memberikan petunjuk awal tentang distribusi anatomi CAD. Dalam praktiknya, klinisi dapat memanfaatkan informasi ini untuk memperkirakan kompleksitas lesi, jumlah *vessel* yang terkena, dan potensi kebutuhan revascularisasi. Adanya *segment ST elevation* yang tidak sesuai dengan infark sebelumnya juga dapat menandakan adanya *transmural ischemia* atau penyakit koroner yang sangat berat.

Beberapa studi angiografi membuktikan bahwa kedalaman depresi ST berkorelasi positif dengan derajat stenosis luminal pada arteri koroner. Pasien dengan TMT positif dan ST depression > 2 mm di beberapa lead lebih sering ditemukan mengalami lesi $> 70\%$ pada dua atau lebih arteri koroner. Selain itu, semakin banyak lead yang menunjukkan perubahan ST, semakin luas area miokard yang mengalami iskemia.

3. Faktor yang Mempengaruhi Validitas TMT dan ST Changes

Meskipun TMT adalah alat yang berguna, hasilnya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor pasien dan teknis. Wanita, misalnya, lebih sering menunjukkan hasil false-positive akibat variabilitas hormonal

dan pengaruh payudara terhadap pembacaan EKG. Lansia sering kali tidak mampu mencapai denyut jantung target, sehingga sensitivitas tes berkurang.^[16]

Obat-obatan seperti beta-blocker, calcium channel blockers, dan digitalis dapat menurunkan respons jantung terhadap latihan atau menyebabkan perubahan EKG yang menyerupai iskemia. Oleh karena itu, keputusan untuk menghentikan sementara obat sebelum *TMT* harus disesuaikan dengan kondisi klinis pasien.

Kondisi dasar seperti hipertrofi ventrikel kiri (LVH), bundle branch block, dan abnormalitas elektrolit juga dapat memengaruhi interpretasi EKG. Pasien dengan EKG baseline yang abnormal sering kali membutuhkan modalitas lain seperti stress echocardiography untuk memperoleh hasil diagnostik yang lebih valid.

Untuk meminimalkan kesalahan interpretasi, penting bagi pelaksana *TMT* untuk mempertimbangkan semua faktor klinis, teknis, dan kontekstual sebelum mengambil kesimpulan dari hasil tes. Pengalaman operator juga memegang peranan penting dalam meningkatkan akurasi diagnostik *TMT*.

4. ST Segment Changes dalam Guidelines Klinis yang menyeluruh

Pedoman klinis dari ACC/AHA dan ESC menyatakan bahwa *TMT* dapat digunakan sebagai pemeriksaan awal pada pasien dengan gejala angina stabil dan risiko menengah terhadap CAD. Pasien yang mampu melakukan aktivitas fisik dan memiliki EKG baseline yang interpretabel adalah kandidat ideal untuk *TMT*. ACC/AHA menyarankan bahwa *TMT* dianggap positif jika terdapat depresi ST horizontal atau downsloping ≥ 1 mm yang terjadi atau berlanjut setidaknya 60–80 milidetik setelah titik J. Kriteria tambahan yang meningkatkan nilai prediktif positif adalah onset awal depresi ST (dalam 3 menit pertama), pemulihan lambat, dan terjadinya gejala angina bersamaan.^[14]

ESC 2019 menggarisbawahi pentingnya pemilihan pasien untuk *TMT* dan menyarankan penggunaannya sebagai bagian dari algoritma penilaian pra-tes (pre-test probability). Jika probabilitas pre-test rendah, *TMT* dapat menghindarkan pasien dari prosedur yang tidak perlu. Sebaliknya, jika hasil *TMT* menunjukkan temuan bermakna, maka pasien diarahkan untuk evaluasi lebih lanjut, seperti CAG.^[17]

Panduan-panduan ini juga menekankan pentingnya dokumentasi dan pemahaman mendalam tentang parameter EKG selama *TMT*, termasuk jenis dan distribusi ST segment changes serta gejala yang muncul.

5. Implikasi Klinis: *TMT* Sebagai Alat Stratifikasi Risiko dan Keputusan Terapi

TMT berperan penting dalam menentukan jalur manajemen pasien dengan gejala angina. Pasien yang menunjukkan *TMT* negatif dan mampu menyelesaikan uji latihan tanpa gejala memiliki prognosis yang baik dan dapat dikelola secara konservatif. Sebaliknya, *TMT* positif yang menunjukkan depresi ST signifikan, onset dini, dan gejala berat menjadi dasar untuk dilakukan angiografi koroner dan pertimbangan revascularisasi.

Skor seperti DTS telah terbukti efektif dalam memprediksi risiko mortalitas dan morbiditas. Skor rendah (< -11) mengindikasikan risiko tinggi, sedangkan skor tinggi ($> +5$) menunjukkan risiko rendah. Kombinasi antara *TMT* dan faktor klinis lainnya (seperti usia, diabetes, riwayat merokok) memberikan stratifikasi risiko yang lebih tajam dan membantu dalam pengambilan keputusan klinis yang tepat.

Selain itu, *TMT* juga dapat digunakan untuk menilai respons terhadap terapi farmakologis dan rehabilitasi jantung. Pada pasien pasca-infark miokard, *TMT* dapat mengevaluasi kapasitas fungsional dan mendeteksi iskemia residual.

6. Keterbatasan dan Masa Depan TMT dalam Evaluasi CAD

Meskipun TMT telah lama digunakan, keterbatasannya perlu diakui. Sensitivitas yang tidak terlalu tinggi dan kemungkinan hasil false-positive atau false-negative membatasi penggunaannya pada beberapa populasi.^[18] Modalitas seperti CT-CAG, MPI, dan stress echo sering kali memiliki keunggulan dalam hal akurasi dan visualisasi anatomi.

Namun, dengan biaya rendah dan akses yang luas, TMT tetap menjadi alat utama di berbagai fasilitas, terutama di negara berkembang. Kemajuan teknologi membuka kemungkinan integrasi TMT dengan pemantauan hemodinamik canggih, analisis AI, dan data biometrik lainnya untuk meningkatkan akurasi.^{[19], [20]}

Penelitian terbaru juga menunjukkan penggunaan TMT dalam konteks prediksi populasi luas melalui algoritma berbasis machine learning.^[21] Kombinasi TMT dengan biomarker, imaging, dan genetika diharapkan dapat membentuk model prediksi yang lebih personal dan akurat.

KESIMPULAN

Tinjauan pustaka ini menunjukkan bahwa TMT, melalui pengamatan terhadap perubahan segmen ST, tetap merupakan alat skrining yang efektif, praktis, dan bernilai tinggi dalam mendeteksi CAD signifikan. Meskipun terdapat keterbatasan dibandingkan modalitas modern, keunggulan dalam ketersediaan dan biaya menjadikan TMT sangat relevan dalam praktik sehari-hari, terutama di sistem kesehatan dengan sumber daya terbatas.

Pemahaman mendalam tentang interpretasi *ST-segment changes* serta integrasinya dengan penilaian klinis dan risiko akan meningkatkan efektivitas TMT.

Di masa depan, kombinasi TMT dengan teknologi digital dan algoritma prediktif akan membawa peran uji ini ke tingkat

yang lebih tinggi dalam manajemen penyakit jantung koroner.^[22]

DAFTAR PUSTAKA

1. Ikhsan M, Nasution SA, Wijaya IP, Rumende CM. Peran Duke Treadmill Score sebagai Prediktor Penyakit Jantung Koroner pada Pasien dengan Uji Treadmill Positif. *Jurnal Penyakit Dalam Indonesia* Vol. 2016;3(2).
2. Rubiyaktho D, Tjahjono CT. Comparison of Predicted Significant Coronary Lesion by Duke Treadmill Score among Coronary Heart Disease Risk Factors in Patients with Positive Ischemic Response Treadmill Test. *Acta Cardiologia Indonesiana*. 2018;4(1):1–8.
3. Ridwan M, Kusman K. Ritelatur Review: Prosedur Pemeriksaan Coronary Angiography Pada Kasus Acute Trasmular Myocardial Infraction. *Jurnal Anestesi*. 2024;2(1):228–38.
4. Wei J, Pan B, Gan Y, Li X, Liu D, Sang B, et al. Temporal Relationship-Aware Treadmill Exercise Test Analysis Network for Coronary Artery Disease Diagnosis. *Sensors*. 2024;24(9):2705.
5. Bourque JM, Beller GA. Value of Exercise Stress Electrocardiography for Risk Stratification in Patients With Suspected or Known Coronary Artery Disease in The Era of Advanced Imaging Technologies. *The Journal of the American College of Cardiology Cardiovascular imaging*. 2015;8(11):1309.
6. Gyawali A, Karki P, Pandey NK, Pandey B, Shrestha S, Thapa R, et al. Comparative Study of Treadmill Test Positive Patients with Coronary Artery Profile on Coronary Angiography in Patient Presenting with Chest Pain in BPKIHS, Dharan, Nepal. *Nepal Medici Medical Journal*. 2023;4(2):41–5.
7. Thapa R, Karki P, Pandey NK, Ghimire JP, Pandey B, Gyawali A, et al. Coronary Artery Profile on Coronary Angiography in Treadmill Test positive Female Patients Presenting in BPKIHS, Nepal. *Journal of Advances in Internal Medicine*. 2024;13(2):57–61.
8. Vilcant V, Zeltser R. Treadmill Stress Testing. In: StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; 2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499903/>
9. Garner KK, Pomeroy W, Arnold JJ. Exercise Stress Testing: Indications and Common Questions. *American Family Physician*. 2017;96(5):293–299A.
10. GOLD COA. Interpretation of the Electrocardiography during Exercise and Recovery. *Ellestad's Stress Testing: Principles and Practice*. 2018;160.
11. Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, Alfonso F, Banning AP, Benedetto U, et al. 2018 European Society of Cardiology/European Association for Cardio Thoracic Surgery Guidelines on Myocardial Revascularization. *European heart journal*. 2019;40(2):87–165.
12. Gul F, Parekh A. Multivessel disease. In: StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; 2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557895/>
13. Vrints C, Andreotti F, Koskinas KC, Rossello X, Adamo M, Ainslie J, et al. 2024 European Society of Cardiology Guidelines for The Management of Chronic Coronary Syndromes: Developed by The

- Task Force for The Management of Chronic Coronary Syndromes of the European Society of Cardiology Endorsed by the European Association for Cardio-Thoracic Surgery. *European heart journal*. 2024;45(36):3415–537.
14. Lim YC, Teo SG, Poh KK. ST-segment Changes with Exercise Stress. *Singapore Medical Journal*. 2016;57(7):347.
 15. Meyers HP, Bracey A, Lee D, Lichtenheld A, Li WJ, Singer DD, et al. Ischemic ST-segment Depression Maximal in V1–V4 (versus V5–V6) of Any Amplitude is Specific for Occlusion Myocardial Infarction (Versus Non Occlusive Ischemia). *Journal of the American Heart Association*. 2021;10(23):e022866.
 16. Sun Y, Li W, Yin L, Wei L, Wang Y. Diagnostic Accuracy of Treadmill Exercise Tests among Chinese Women with Coronary Artery Diseases: A Systematic Review and Meta-analysis. *International Journal of Cardiology*. 2017;227:894–900.
 17. Antti S, Juhani K. ESC 2019 Guidelines for the Diagnosis and Management of Chronic Coronary Syndromes. *Herz*. 2020;45(5):409–20.
 18. Hadida Barzilai D, Cohen-Shelly M, Sorin V, Zimlichman E, Massalha E, Allison TG, et al. Machine Learning in Cardiac Stress Test Interpretation: a Systematic Review. *European Heart Journal-Digital Health*. 2024;5(4):401–8.
 19. Yilmaz A, Hayiroğlu Mİ, Salturk S, Pay L, Demircali AA, Coşkun C, et al. Machine Learning Approach on High Risk Treadmill Exercise Test to Predict Obstructive Coronary Artery Disease by Using P, QRS, and T waves' features. *Current Problems in Cardiology*. 2023;48(2):101482.
 20. Lee YH, Tsai TH, Chen JH, Huang CJ, Chiang CE, Chen CH, et al. Machine Learning of Treadmill Exercise Test to Improve Selection for Testing for Coronary Artery Disease. *Atherosclerosis*. 2022;340:23–7.
 21. Kim YR, Lee K. The Feasibility of Artificial Intelligence in Interpretation of the Treadmill Test. *Circulation*. 2023;148(Suppl_1):A16611–A16611.
 22. Doolub G, Mamalakis M, Alabed S, Van der Geest RJ, Swift AJ, Rodrigues JC, et al. Artificial Intelligence as A Diagnostic Tool in Non-Invasive Imaging in The Assessment of Coronary Artery Disease. *Medical Sciences*. 2023;11(1):20.