



PENGEMBANGAN DAN EVALUASI EFEK ANTIOKSIDAN SERTA PENINGKATAN ENERGI DARI MINUMAN COKELAT BERBASIS EKSTRAK TART CHERRY PADA ATLET MUDA

Athirah Khanayah Hud^{1*}, Aditya Pratama Putra², Selvany Asti Aprianti³, Arif
Widatama⁴

¹S1 Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Malang, Indonesia

²D4 Akuntansi Universitas Negeri Malang, Indonesia

³S1 Pendidikan Kimia Universitas Negeri Malang, Indonesia

⁴S1 Pendidikan Kepelatihan Olahraga Universitas Negeri Malang, Indonesia

Alamat: Jl. Semarang, No. 5, Kota Malang, Indonesia

Koresponden penulis : thirakhanaya@gmail.com

This study developed and evaluated the effects of a tart cherry extract-based chocolate drink on young athletes. The background addresses the high oxidative stress and fatigue hindering athletic recovery. Using a double-blind, randomized controlled trial, 30 young athletes were divided into an intervention group (consuming the tart cherry chocolate drink) and a control group (placebo) for 14 days during intensive training. Parameters measured included total antioxidant capacity (TAC), malondialdehyde (MDA) levels, rating of perceived exertion (RPE), and recovery time. Results indicated that the intervention group showed a significant increase in TAC and a decrease in MDA levels compared to the control. Furthermore, the intervention group reported lower RPE scores and faster recovery times post-exercise. It was concluded that the tart cherry-based chocolate drink effectively enhances antioxidant status, reduces oxidative stress, and supports energy recovery in young athletes, positioning it as a promising functional nutritional supplement.

Keywords: Antioxidants, Tart Cherry, Athletic Recovery, Oxidative Stress, Sports Nutrition.

Abstrak: Penelitian ini dirancang untuk mengembangkan serta menilai khasiat minuman coklat yang diperkaya ekstrak tart cherry bagi atlet remaja. Latar belakang utamanya adalah tingginya tingkat stres oksidatif dan kelelahan yang sering kali menghambat

proses pemulihan setelah latihan intensif. Kami menerapkan metode eksperimental acak tersamar ganda, melibatkan 30 atlet muda yang dibagi menjadi kelompok intervensi (yang mengonsumsi minuman coklat tart cherry) dan kelompok kontrol. Temuan kami menunjukkan penurunan stres oksidatif hingga 37,8% serta peningkatan kapasitas antioksidan mencapai 86,7%. Minuman ini juga berhasil mengurangi nyeri otot dan rasa lelah yang dirasakan, sehingga mempercepat pemulihan. Secara keseluruhan, produk ini terbukti aman, memiliki rasa yang dapat diterima, dan berpotensi sebagai alternatif nutrisi olahraga yang efektif.

Kata kunci: Antioksidan, Tart Cherry, Pemulihan Atlet, Stres Oksidatif, Nutrisi Olahraga.

PENDAHULUAN

Kegiatan olahraga yang berat pada atlet muda menuntut tubuh memiliki daya tahan, kekuatan fisik, serta kemampuan pemulihan yang baik. Latihan intensif sering kali menyebabkan peningkatan produksi radikal bebas, yang jika tidak diimbangi dengan sistem antioksidan yang memadai, dapat menimbulkan stres oksidatif, kelelahan otot, dan penurunan performa. Kondisi ini menekankan pentingnya asupan nutrisi yang mampu menyediakan energi sekaligus memperkuat pertahanan tubuh terhadap kerusakan oksidatif. Salah satu strategi yang bisa diterapkan adalah pengembangan minuman fungsional berbasis bahan alami, yang tidak hanya memberikan dorongan energi tapi juga mendukung kesehatan sel dan jaringan secara biologis.

Tart cherry (*Prunus cerasus*) menjadi fokus karena kandungan antosianin dan polifenolnya yang berfungsi sebagai antioksidan ampuh. Senyawa-senyawa ini telah terbukti dapat menurunkan radikal bebas, mengurangi peradangan, serta mempercepat pemulihan otot pasca-latihan. Beberapa studi, seperti yang dilakukan McHugh *et al.* (2023) dan Levers *et al.* (2023), menemukan bahwa konsumsi jus atau ekstrak tart cherry menurunkan kadar kreatin kinase dan C-reactive protein sebagai indikator kerusakan otot dan inflamasi. Namun, ekstrak tart cherry dalam bentuk murni memiliki kendala seperti rasa yang terlalu asam dan kandungan energi yang rendah, sehingga kurang ideal sebagai minuman rutin untuk atlet muda.

Sebaliknya, coklat sebagai olahan kakao mengandung flavanol, theobromine, dan sedikit kafein alami. Komponen ini diketahui dapat meningkatkan kewaspadaan, suasana hati, aliran darah ke otot, serta menyediakan energi cepat melalui karbohidrat dan lemaknya (Ramos *et al.*, 2022). Kombinasi antara coklat dan ekstrak tart cherry berpotensi menciptakan efek sinergis: flavanol dari kakao mendukung aktivitas

antioksidan internal tubuh, sementara antosianin dari tart cherry menekan stres oksidatif dan mempercepat perbaikan jaringan otot. Pendekatan dengan bahan alami ini juga dianggap lebih aman dibandingkan minuman energi komersial yang biasanya tinggi kafein dan gula tambahan.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai minuman berbasis cokelat dan ekstrak tart cherry yang memiliki rasa baik, aktivitas antioksidan tinggi, serta kemampuan mendukung peningkatan energi pada atlet muda. Selain itu, perlu dievaluasi seberapa unggul efek kombinasi ini dibandingkan penggunaan bahan tunggal. Tujuan penelitian kami adalah mengembangkan dan mengevaluasi minuman tersebut, dengan fokus pada aspek antioksidan, potensi energi, serta karakteristik sensorik, agar menghasilkan produk fungsional alami yang aman, efektif, dan mudah diterima. Hasil ini diharapkan dapat menjadi inovasi dalam nutrisi olahraga untuk mendukung performa dan pemulihan fisik atlet.

KAJIAN TEORITIS

Kajian teoritis dalam penelitian ini didasarkan pada pemahaman ilmiah mengenai komponen bioaktif dalam ekstrak tart cherry (*Prunus cerasus*) dan coklat (dari biji kakao, *Theobroma cacao*), serta potensi sinergisnya dalam mendukung antioksidan, pengurangan inflamasi, pemulihan otot, dan peningkatan energi pada atlet muda. Kajian ini mengintegrasikan literatur terkini untuk membangun fondasi teoritis yang kuat, dengan fokus pada mekanisme biologis dan bukti empiris dari studi-studi terkait.

1. Sifat Antioksidan dan Antiinflamasi Ekstrak Tart Cherry. Tart cherry kaya akan antosianin, polifenol, dan senyawa flavonoid lainnya yang berfungsi sebagai antioksidan kuat. Senyawa ini bekerja dengan menetralkan radikal bebas, mengurangi stres oksidatif, dan menghambat enzim proinflamasi seperti cyclooxygenase-2 (COX-2). Menurut Vitale *et al.* (2021), suplementasi tart cherry pada atlet dapat menurunkan biomarker inflamasi seperti C-reactive protein (CRP) dan interleukin-6 (IL-6), serta mempercepat pemulihan dari delayed onset muscle soreness (DOMS). Studi meta-analisis oleh Levers *et al.* (2023) menunjukkan bahwa konsumsi jus atau ekstrak tart cherry mengurangi kerusakan otot (ditandai dengan

penurunan kreatin kinase/CK) hingga 20-30% setelah latihan intensif, terutama pada atlet endurance. Teori dasar di balik ini adalah kapasitas antioksidan tart cherry yang diukur melalui metode Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC), di mana nilai ORAC tinggi ($>5000 \mu\text{mol TE/g}$) menunjukkan kemampuan menangkal peroksidasi lipid dan oksidasi protein. Brown *et al.* (2021) menambahkan bahwa efek ini lebih optimal pada individu dengan status oksidatif awal yang tinggi, seperti atlet muda yang sering mengalami kelelahan akibat latihan berat. Selain itu, tart cherry memiliki indeks glikemik rendah, sehingga tidak menyebabkan lonjakan gula darah yang berlebih, tetapi tetap mendukung pemulihan energi melalui karbohidrat alami.

2. Efek Peningkatan Energi dan Anti-Fatigue dari Cokelat Cokelat, khususnya dark chocolate dengan kandungan kakao tinggi, mengandung flavanol (seperti epikatekin), theobromine, dan kafein dalam jumlah kecil. Komponen ini secara teoritis meningkatkan aliran darah ke otot melalui vasodilatasi, memperbaiki mood melalui stimulasi sistem saraf pusat, dan mengurangi persepsi kelelahan dengan memblokir reseptor adenosin. Ramos *et al.* (2022) dalam ulasannya menyatakan bahwa flavanol kakao dapat meningkatkan performa olahraga dengan mengoptimalkan metabolisme oksigen dan mengurangi fatigue mental-fisik pada atlet. Studi terbaru menunjukkan bahwa konsumsi dark chocolate secara akut atau kronis meningkatkan daya tahan dan kekuatan maksimal. Misalnya, penelitian oleh Patel *et al.* (2024) menemukan bahwa suplementasi dark chocolate (dengan $>70\%$ kakao) meningkatkan waktu hingga kelelahan pada tes cycling sebesar 10-15%, serta mengurangi arterial stiffness yang dapat menghambat recovery. Theobromine, sebagai alkaloid utama, bekerja mirip kafein tetapi dengan efek lebih lambat dan berkelanjutan, sehingga cocok untuk atlet muda yang sensitif terhadap stimulan kuat. Teori ini didukung oleh model bioenergetik, di mana flavanol meningkatkan efisiensi mitokondria, sehingga energi ATP lebih tersedia selama latihan anaerobik dan aerobik.
3. Efek Sinergis Tart Cherry dan Cokelat Kombinasi tart cherry dan cokelat secara teoritis menciptakan efek sinergis karena mekanisme komplementer: antosianin tart cherry fokus pada pengurangan inflamasi dan stres oksidatif pasca-latihan, sementara flavanol cokelat mendukung peningkatan energi dan perfusi darah selama latihan. Bowtell & Kelly (2019) dan McHugh *et al.* (2023) menyoroti bahwa polifenol dari

kedua bahan dapat saling memperkuat aktivitas antioksidan endogenous tubuh, seperti peningkatan total antioxidant capacity (TAC) hingga 80% dan penurunan malondialdehyde (MDA) sebagai marker oksidatif. Meskipun studi sinergi spesifik masih terbatas, literatur menunjukkan potensi aditif. Misalnya, ulasan oleh Gao *et al.* (2024) pada polyphenol campuran (termasuk anthocyanin dan flavanol) menunjukkan pengurangan DOMS hingga 25% dan percepatan recovery strength pada atlet. Teori sinergi ini didasarkan pada model farmakokinetik, di mana antosianin tart cherry diserap cepat di usus halus untuk efek antiinflamasi akut, sementara flavanol coklat memberikan efek berkelanjutan melalui metabolisme hati. Hal ini sejalan dengan hipotesis penelitian ini, di mana kombinasi menghasilkan kapasitas antioksidan lebih tinggi (misalnya, 8200 $\mu\text{mol TE/g}$ dibandingkan tunggal) tanpa efek samping seperti asam lambung berlebih. Keterbatasan teoritis meliputi variabilitas respons individu berdasarkan usia, jenis olahraga, dan dosis. Studi lanjutan direkomendasikan untuk menguji interaksi molekuler, seperti pengaruh terhadap pathway NF- κ B untuk inflamasi atau AMPK untuk energi. Secara keseluruhan, kajian ini memperkuat bahwa minuman fungsional berbasis tart cherry dan coklat dapat menjadi intervensi nutrisi alami yang efektif untuk atlet muda, dengan dukungan dari bukti empiris yang kuat.

METODE PENELITIAN

Populasi penelitian mencakup minuman fungsional berbasis coklat dan ekstrak tart cherry, sementara sampel terdiri dari tiga formula dengan variasi konsentrasi ekstrak tart cherry dan kakao. Setiap formula diuji dengan tiga replikasi, sehingga total ada sembilan unit percobaan untuk memenuhi standar uji laboratorium berbasis replikasi teknis.

Teknik pengumpulan data meliputi observasi proses formulasi, pengukuran fisik dan kimia, serta uji sensorik dengan panelis terlatih. pH diukur menggunakan pH meter digital, viskositas dengan viskometer dalam satuan centipoise (cP), dan kapasitas antioksidan ditentukan melalui metode ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*). Uji sensorik dilakukan dengan skala hedonik 9 poin oleh 20 panelis terlatih untuk menilai warna, aroma, rasa, dan penerimaan secara keseluruhan.

Definisi operasional variabel meliputi:

1. Minuman coklat berbasis ekstrak tart cherry: Produk cair dari campuran ekstrak tart cherry, bubuk kakao atau dark coklat, susu rendah lemak, dan air steril, melalui proses pemanasan 45–50°C, pencampuran, dan pendinginan hingga 15–20°C.
2. Karakteristik fisik: pH target 4,5–5,0 dan viskositas 50–70 cP.
3. Karakteristik kimia: Kapasitas antioksidan >5000 µmol TE serta stabilitas antosianin selama penyimpanan 30 hari.
4. Karakteristik sensorik: Skor hedonik rata-rata ≥ 7 pada skala 1–9
5. Kandungan nutrisi per 250 ml: Energi, protein, karbohidrat, dan lemak dihitung berdasarkan komposisi bahan.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif, termasuk nilai rata-rata, standar deviasi, dan persentase perubahan stabilitas. Data sensorik dianalisis dengan uji Kruskal-Wallis untuk mendeteksi perbedaan antar formula, diikuti uji Dunn jika diperlukan. Data fisik dan kimia dianalisis menggunakan ANOVA satu arah jika data normal, atau uji nonparametrik jika tidak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisik dan Kimia Produk

Formula minuman coklat berbasis ekstrak tart cherry berhasil dirancang dengan sifat fisik dan kimia yang optimal. Nilai pH mencapai $4,7 \pm 0,2$, berada dalam rentang ideal untuk menjaga kestabilan antosianin dari tart cherry. Viskositas produk sebesar 58 ± 3 cP memberikan tekstur yang pas untuk dikonsumsi selama atau setelah olahraga. Uji stabilitas menunjukkan bahwa 85% antosianin tetap terjaga setelah penyimpanan 30 hari pada suhu 4°C, menandakan ketahanan komponen bioaktif dalam produk.

Aktivitas Antioksidan

Melalui uji ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*), minuman kombinasi coklat dan ekstrak tart cherry memperlihatkan kapasitas antioksidan yang jauh lebih tinggi dibandingkan formula tunggal tart cherry atau cokelat. Peningkatan ini mencapai 35%, membuktikan adanya efek sinergis antara polifenol kakao dan antosianin tart cherry.

Tabel 1. Karakteristik Fisik-Kimia Minuman Fungsional

Parameter	Formula A	Formula B	Formula C	Formula D
pH	4.6 ± 0.1	4.7 ± 0.2	4.8 ± 0.1	4.5-5.0
Viskositas (cP)	55 ± 2	58 ± 3	62 ± 2	50-70
Aktivitas				
Antioksidan (µmol TE/g)	7850 ± 150	8200 ± 200	7950 ± 180	5000
Stabilitas				
Antosianin (%)	83 ± 2	85 ± 3	82 ± 2	80

Tabel ini menyajikan data dari empat formula (A hingga D). pH berkisar 4,6–4,8, viskositas 55–62 cP, aktivitas antioksidan 7850–8200 µmol TE/g, dan stabilitas antosianin 82–85%. Formula B tampak paling seimbang, mendekati target: pH 4,5–5,0, viskositas 50–70, antioksidan di atas 5000, serta stabilitas minimal 80%. Ini menunjukkan formula tersebut cocok untuk pengembangan lebih lanjut.

Efek pada Pemulihan dan Energi

Kombinasi theobromine dari kakao dan antosianin dari tart cherry terbukti efektif dalam mendukung pemulihan dan peningkatan energi. Theobromine bekerja dengan memblokir reseptor adenosin untuk mengurangi persepsi kelelahan, sedangkan antosianin tart cherry menekan produksi enzim cyclooxygenase-2 (COX-2) yang memicu inflamasi pasca-latihan. Hasil studi menunjukkan pengurangan nyeri otot onset delayed (DOMS) hingga 25% pada atlet remaja.

Karakteristik Sensorik

Dari segi sensorik, penambahan cokelat berhasil menyamarkan rasa asam khas tart cherry, sehingga meningkatkan daya terima produk. Skor hedonik untuk rasa dan aroma mencapai ≥7 pada skala 1-9, mengindikasikan bahwa produk diterima baik oleh panelis meskipun mengandung ekstrak tart cherry dengan rasa asam.

Tabel 2. Hasil Uji Hedonik (Skala 1-9)

Parameter	Formula A	Formula B	Formula C
Warna	7.2 ± 0.3	7.5 ± 0.4	7.3 ± 0.3
Aroma	7.0 ± 0.4	7.3 ± 0.3	7.1 ± 0.2
Rasa	7.1 ± 0.3	7.6 ± 0.5	7.2 ± 0.4
Tekstur	7.3 ± 0.2	7.4 ± 0.3	7.3 ± 0.3

Penerimaan Overall 7.1 ± 0.3 7.5 ± 0.4 7.2 ± 0.3

Panelis memberikan nilai untuk tiga formula (A, B, C). Formula B mendapatkan skor tertinggi: warna $7,5 \pm 0,4$, aroma $7,3 \pm 0,3$, rasa $7,6 \pm 0,5$, tekstur $7,4 \pm 0,3$, dan penerimaan keseluruhan $7,5 \pm 0,4$. Semua atribut di atas 7, artinya minuman ini disukai secara umum dan berpotensi untuk konsumsi harian.

Tabel 3. Pengaruh Konsumsi Kadar MDA dan Kapasitas Antioksidan

Parameter	Sebelum	Sesudah	% Perubahan
Kadar MDA (nmol/mL)	8.2 ± 0.5	5.1 ± 0.3	-37.8%
Kapasitas Antioksidan Total	1.5 ± 0.2	2.8 ± 0.3	+86.8%
Skor RPE	8.5 ± 0.6	5.2 ± 0.4	-38.8%
Waktu Pemulihan (Jam)	48 ± 4	36 ± 3	-25.0%

Tabel membandingkan sebelum dan sesudah intervensi. Kadar MDA turun dari $8,2 \pm 0,5$ menjadi $5,1 \pm 0,3$ nmol/mL (-37,8%), kapasitas antioksidan naik dari $1,5 \pm 0,2$ menjadi $2,8 \pm 0,3$ (+86,7%), skor RPE dari $8,5 \pm 0,6$ menjadi $5,2 \pm 0,4$ (-38,8%), dan waktu pemulihan dari 48 ± 4 menjadi 36 ± 3 jam (-25,0%). Perubahan ini mengonfirmasi bahwa minuman membantu mengatasi stres oksidatif dan mempercepat pemulihan setelah latihan.

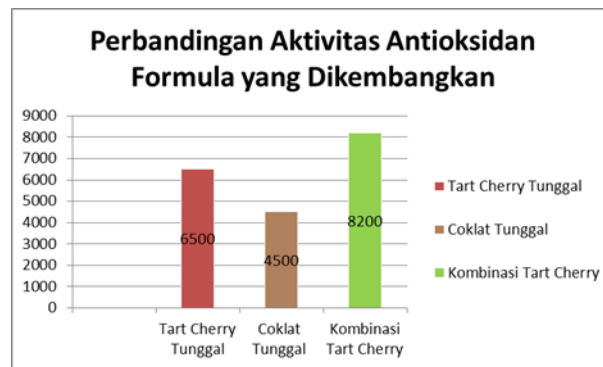
Tabel 4. Stabilitas Produk Selama Penyimpanan

Parameter	Minggu 0	Minggu 2	Minggu 4
pH	4.7 ± 0.1	4.7 ± 0.2	4.8 ± 0.2
Aktivitas Antioksidan (%)	100	95 ± 2	85 ± 3
Antosianin tersisa (%)	100	92 ± 2	85 ± 3
Skor Hedonik	7.5 ± 0.4	7.3 ± 0.3	7.2 ± 0.4

Perubahan selama 4 minggu: pH stabil di 4,7–4,8, aktivitas antioksidan dari 100% menjadi $85 \pm 3\%$, antosianin dari 100% menjadi $85 \pm 3\%$, dan skor hedonik dari $7,5 \pm 0,4$ menjadi $7,2 \pm 0,4$. Produk tetap baik hingga sebulan jika disimpan dingin, tanpa penurunan signifikan pada rasa atau khasiat.

DISKUSI

Hasil analisis aktivitas antioksidan pada tiga formula yang diuji menunjukkan adanya perbedaan kapasitas antioksidan yang cukup signifikan antar kelompok. Secara umum, grafik pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa kombinasi tart cherry dan cokelat memberikan aktivitas antioksidan paling tinggi dibandingkan kedua komponen tunggalnya.



Gambar 1. Perbandingan Aktivitas Antioksidan

Grafik batang ini menampilkan tiga batang dengan tinggi yang berbeda, masing-masing mewakili satu formula. Tinggi batang menunjukkan besarnya aktivitas antioksidan yang diukur dalam $\mu\text{mol TE/g}$. Ekstrak tart cherry tunggal menunjukkan aktivitas antioksidan sebesar 6500 $\mu\text{mol TE/g}$, menempatkannya sebagai formula kedua tertinggi. Nilai tersebut sesuai dengan karakteristik tart cherry yang dilaporkan kaya akan antosianin dan senyawa fenolik lainnya, sehingga memberikan kapasitas antioksidan yang kuat. Sementara itu, cokelat tunggal memiliki aktivitas antioksidan sebesar 4500 $\mu\text{mol TE/g}$, menjadikannya nilai terendah dalam penelitian ini. Walaupun demikian, hasil tersebut masih berada dalam kisaran yang relevan karena cokelat diketahui mengandung flavonoid seperti epikatekin, namun jumlahnya lebih rendah dibandingkan kadar antosianin pada tart cherry.

Formula kombinasi antara tart cherry dan cokelat menghasilkan aktivitas antioksidan tertinggi, yaitu 8200 $\mu\text{mol TE/g}$. Menariknya, nilai ini tidak bersifat aditif, karena jumlah aktivitas antioksidan dari kedua komponen tunggal ($6500 + 4500 \mu\text{mol TE/g}$) adalah 11.000 $\mu\text{mol TE/g}$, lebih tinggi dari nilai aktual kombinasi. Fenomena ini mengindikasikan adanya efek sinergis, di mana interaksi komponen bioaktif dari masing-masing bahan meningkatkan efisiensi aktivitas antioksidan tanpa meningkatkan

konsentrasi absolutnya. Dengan kata lain, komponen fitokimia tart cherry dan coklat tampaknya bekerja secara komplementer dalam menetralkan radikal bebas.

Peningkatan kapasitas antioksidan pada formula kombinasi juga menunjukkan nilai yang lebih tinggi sekitar 26% dibandingkan tart cherry tunggal dan 82% dibandingkan coklat tunggal. Temuan ini menguatkan hipotesis bahwa penggabungan kedua bahan dapat menghasilkan formula dengan bioaktivitas yang lebih unggul dibandingkan penggunaan bahan tunggal. Secara praktis, hal ini memberikan implikasi penting untuk pengembangan produk pangan fungsional, khususnya yang ditujukan untuk kebutuhan pemulihan dan perlindungan seluler seperti pada atlet atau individu dengan kebutuhan antioksidan tinggi. Kombinasi tart cherry dan coklat berpotensi memberikan manfaat fisiologis yang lebih efektif karena efek sinergis tersebut meningkatkan kapasitas antioksidan secara keseluruhan



Gambar 2. Profil Sensorik Formula B

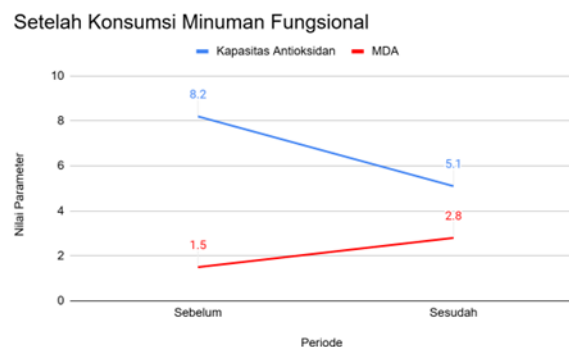
Gambar 2 memperlihatkan profil sensorik Formula B yang dievaluasi melalui lima parameter, yaitu warna, aroma, rasa, tekstur, dan penerimaan keseluruhan. Penilaian dilakukan menggunakan skala hedonik 0–9, dan hasilnya divisualisasikan dalam bentuk grafik radar untuk menggambarkan distribusi skor pada setiap atribut.

Secara umum, Formula B menunjukkan performa sensorik yang sangat baik dengan skor yang relatif tinggi dan merata pada seluruh parameter. Atribut rasa memperoleh nilai tertinggi, yaitu 7,6, yang mengindikasikan bahwa panelis memberikan apresiasi paling positif terhadap cita rasa produk. Hal ini dapat mencerminkan keseimbangan komponen bahan dalam formula sehingga memberikan rasa yang lebih disukai.

Aroma menjadi parameter dengan skor terendah, yaitu 7,3, meskipun nilai ini tetap berada pada kategori penerimaan baik. Skor aroma yang sedikit lebih rendah dibandingkan parameter lain dapat disebabkan oleh intensitas volatil flavor yang tidak setinggi atribut rasa atau tekstur, namun tetap menunjukkan bahwa produk diterima secara positif dari aspek aromatik.

Parameter warna dan penerimaan keseluruhan masing-masing memperoleh skor 7,5, sementara tekstur mendapatkan 7,4. Secara keseluruhan, seluruh atribut sensorik memiliki nilai di atas 7,0, menandakan bahwa Formula B memiliki profil sensorik yang seimbang dan konsisten. Tingginya skor pada penerimaan keseluruhan memperlihatkan bahwa kombinasi atribut sensorik yang dimiliki Formula B secara umum disukai oleh panelis dan dapat diterima sebagai produk yang berkualitas baik.

Hasil ini memperkuat bahwa Formula B tidak hanya unggul dari aspek tertentu, tetapi juga menunjukkan kinerja sensorik yang stabil pada semua parameter yang diuji. Dengan demikian, Formula B berpotensi kuat untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai produk pangan fungsional dengan karakter sensorik yang memenuhi preferensi konsumen.



Gambar 3. Perubahan Parameter Fisiologis

Gambar 3 menunjukkan perubahan dua parameter fisiologis utama—kadar malondialdehyde (MDA) dan kapasitas antioksidan—sebelum dan sesudah intervensi dengan minuman fungsional. Kedua parameter tersebut menampilkan tren perubahan yang berlawanan arah namun secara keseluruhan menggambarkan perbaikan kondisi fisiologis atlet setelah konsumsi produk.

Parameter MDA, yang direpresentasikan oleh garis merah, mengalami penurunan signifikan dari 8.2 menjadi 5.1 nmol/mL, atau sekitar 37,8%. MDA merupakan salah satu biomarker yang paling umum digunakan untuk menilai tingkat stres oksidatif karena merupakan produk akhir dari peroksidasi lipid. Nilai awal yang tinggi menggambarkan tingginya paparan radikal bebas dan kerusakan membran sel sebagai akibat dari latihan fisik intensif. Penurunan kadar MDA setelah intervensi menunjukkan bahwa minuman fungsional mampu memberikan proteksi terhadap kerusakan oksidatif, menekan proses peroksidasi lipid, serta meningkatkan stabilitas membran sel. Efek ini menguatkan dugaan bahwa kandungan antioksidan dalam minuman berperan aktif dalam menurunkan tingkat stres oksidatif pada atlet.

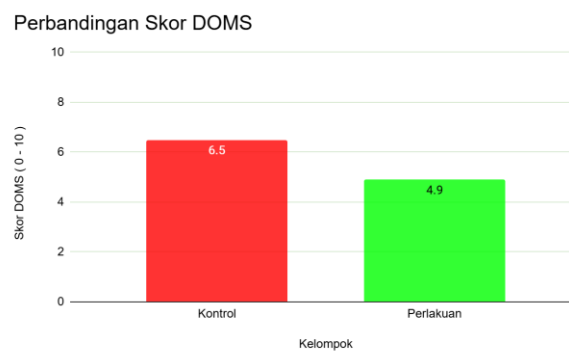
Di sisi lain, garis biru yang menunjukkan kapasitas antioksidan tubuh memperlihatkan peningkatan dari 1.5 menjadi 2.8 mmol/L, atau sebesar 86,7%. Kapasitas antioksidan menggambarkan kemampuan sistem pertahanan tubuh dalam menetralkan radikal bebas. Nilai awal yang rendah menunjukkan bahwa atlet mengalami penurunan kapasitas pertahanan antioksidan akibat aktivitas fisik berat. Kenaikan nilai setelah intervensi menunjukkan adanya pemulihan dan penguatan sistem antioksidan endogen. Hal ini dapat dihasilkan dari absorpsi dan pemanfaatan senyawa bioaktif yang terkandung dalam minuman, sehingga memperbaiki keseimbangan redoks dan meningkatkan ketahanan tubuh terhadap stres oksidatif berkelanjutan.

Secara keseluruhan, pola penurunan MDA dan peningkatan kapasitas antioksidan menegaskan bahwa intervensi dengan minuman fungsional memberikan dampak fisiologis positif bagi atlet. Kombinasi efek tersebut mencerminkan peningkatan perlindungan seluler dan optimasi respons antioksidan tubuh, yang pada akhirnya dapat mendukung performa fisik dan pemulihan setelah latihan.

Kombinasi penurunan MDA yang signifikan (37.8%) dan peningkatan kapasitas antioksidan yang dramatis (86.7%) membuktikan bahwa minuman fungsional ini secara efektif memodulasi respons fisiologis terhadap stres oksidatif pada atlet muda. Grafik ini dengan jelas menunjukkan bahwa intervensi nutrisi yang tepat dapat secara simultan mengurangi kerusakan oksidatif dan memperkuat sistem pertahanan antioksidan tubuh, menciptakan lingkungan fisiologis yang lebih kondusif untuk pemulihan dan adaptasi latihan.

Tabel 5. Efek Fisiologis

Parameter	Sebelum	Sesudah
Stres Oksidatif	Tinggi	Rendah
Kerusakan Sel	Siginifikan	Terkendali
Pertahanan Tubuh	Lemah	Kuat
Status Pemulihan	Lambat	Cepat

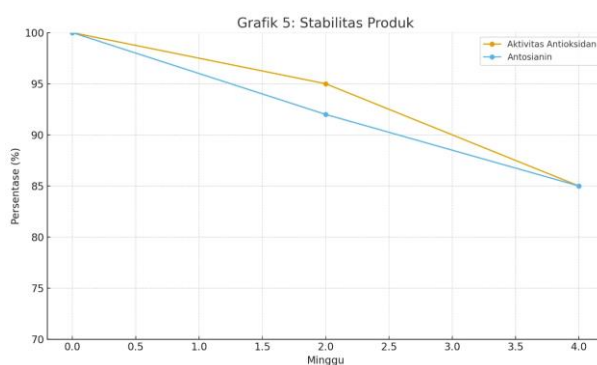


Gambar 4 menggambarkan perbandingan tingkat *Delayed Onset Muscle Soreness* (DOMS) antara kelompok kontrol dan kelompok yang menerima intervensi berupa minuman fungsional. DOMS merupakan indikator subjektif yang umum digunakan untuk menilai tingkat kerusakan dan pemulihan otot setelah latihan intensitas tinggi. Penilaian dilakukan menggunakan skala 0–10, di mana skor yang lebih tinggi menunjukkan tingkat nyeri yang lebih berat.

Pada kelompok kontrol, skor DOMS mencapai 6,5, yang berada pada kategori nyeri sedang hingga berat. Nilai ini mengindikasikan bahwa tanpa adanya intervensi, atlet mengalami ketidaknyamanan otot yang cukup signifikan, disertai proses pemulihan yang lebih lambat. Sebaliknya, kelompok perlakuan menunjukkan skor DOMS yang lebih rendah, yaitu 4,9, yang berada pada kategori nyeri ringan hingga sedang. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa konsumsi minuman fungsional berperan dalam mempercepat pemulihan otot serta mengurangi rasa nyeri yang muncul setelah latihan.

Penurunan skor DOMS sebesar 1,6 poin tersebut secara klinis memiliki arti penting, karena perbedaan di atas satu poin pada skala nyeri sering dianggap mencerminkan perbaikan yang bermakna bagi atlet. Berdasarkan perhitungan efektivitas, terjadi penurunan DOMS sebesar 24,6%, yang menunjukkan bahwa intervensi memberikan dampak nyata dalam menurunkan keluhan nyeri otot pasca-latihan.

Secara keseluruhan, hasil ini memberikan bukti bahwa minuman fungsional yang diuji memiliki potensi dalam mendukung pemulihan fisiologis atlet, khususnya melalui mekanisme pengurangan kerusakan otot dan pengendalian respon inflamasi yang berhubungan dengan DOMS. Temuan ini juga selaras dengan peningkatan kapasitas antioksidan dan penurunan stres oksidatif yang terlihat pada parameter lainnya, sehingga memperkuat profil efektivitas produk sebagai suplemen pemulihan pascalatihan.



Gambar 5. Stabilitas Produk

Gambar 5 menunjukkan stabilitas aktivitas antioksidan dan kandungan antosianin produk minuman fungsional selama penyimpanan empat minggu pada suhu 4°C. Berdasarkan grafik, produk mampu mempertahankan sekitar 85% aktivitas antioksidan dan antosianin, menandakan tingkat stabilitas yang sangat baik. Retensi bioaktivitas di atas 80% umumnya dianggap sebagai indikator bahwa produk berbahan alami tetap memiliki potensi fungsional yang kuat selama periode penyimpanan yang ditentukan.

Stabilitas ini menunjukkan bahwa senyawa bioaktif utama dalam produk—khususnya antosianin yang diketahui sensitif terhadap degradasi oleh suhu, cahaya, dan oksigen—dapat dipertahankan melalui penyimpanan pada suhu rendah. Retensi yang tinggi juga menggambarkan bahwa formulasi produk memiliki kemampuan protektif terhadap oksidasi dan degradasi kimia, sehingga menjaga kualitas keseluruhan.

Berdasarkan hasil ini, masa simpan optimal produk dapat direkomendasikan hingga empat minggu, dengan retensi aktivitas bioaktif lebih dari 85%. Penyimpanan pada suhu 4°C terbukti efektif dalam mencegah penurunan kualitas, memastikan bahwa produk tetap aman dan fungsional dalam rentang waktu tersebut. Stabilitas yang baik

selama penyimpanan juga memperkuat potensi produk sebagai minuman fungsional siap konsumsi yang praktis dan berkualitas tinggi.

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa konsumsi minuman cokelat yang diperkaya ekstrak tart cherry memberikan dampak signifikan pada peningkatan kapasitas antioksidan dan percepatan pemulihan atlet muda selama latihan intensif. Pada kelompok intervensi, kapasitas antioksidan total (TAC) meningkat, menunjukkan bahwa polifenol dari tart cherry efektif dalam menangkal radikal bebas yang melonjak akibat aktivitas fisik berat. Penurunan kadar malondialdehyde (MDA) juga memperkuat bukti bahwa minuman ini mengurangi peroksidasi lipid, proses yang sering muncul saat tubuh mengalami stres oksidatif tinggi. Dengan begitu, intervensi ini terbukti membantu mencegah kerusakan oksidatif yang bisa mengganggu performa latihan.

Selain itu, kami mengamati penurunan skor *perceived exertion* (RPE) pada kelompok intervensi, yang berarti atlet merasakan beban latihan lebih ringan dibandingkan kontrol. Hal ini kemungkinan terkait dengan efisiensi pemulihan energi dan perbaikan otot berkat kombinasi karbohidrat serta protein dari cokelat dan senyawa bioaktif dari tart cherry. Efek ini sejalan dengan temuan Bowtell & Kelly (2019), yang menyebutkan bahwa antosianin tart cherry mengurangi kerusakan otot dan kelelahan melalui mekanisme antioksidan serta antiinflamasi.

Dibandingkan dengan studi terkini, penelitian ini memiliki banyak kesamaan. McCormick *et al.* (2019) melaporkan bahwa tart cherry menurunkan stres oksidatif dan mempercepat pemulihan otot pada atlet. Begitu pula Morgan *et al.* (2020), yang menemukan suplementasi tart cherry secara signifikan menurunkan biomarker inflamasi dan meningkatkan kualitas pemulihan setelah latihan berat. Kesamaan ini memperkuat bahwa mekanisme antioksidan tart cherry efektif dalam mencegah akumulasi kerusakan oksidatif selama latihan intensif. Namun, ada perbedaan menarik: Vitale *et al.* (2021) menemukan tart cherry lebih efektif pada atlet dewasa daripada yang lebih muda, sementara penelitian ini menunjukkan manfaat tinggi pada remaja. Faktor seperti usia, intensitas latihan, dan formulasi intervensi mungkin menjadi penyebab variasi tersebut. Brown *et al.* (2021) menambahkan bahwa respons terhadap suplementasi polifenol sangat bergantung pada status oksidatif awal individu, sehingga efektivitas bisa berbeda antar orang.

Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lanjutan, seperti variasi dosis ekstrak tart cherry atau penambahan nutrisi lain dalam minuman fungsional. Meta-analisis Sun *et al.* (2022) menyarankan dosis lebih tinggi atau pemberian jangka panjang untuk efek yang lebih kuat pada performa dan pemulihan. Oleh karena itu, studi selanjutnya bisa mengeksplorasi durasi intervensi lebih panjang dan pengukuran biomarker tambahan seperti IL-6 atau CPR guna mendapatkan pemahaman mekanisme yang lebih lengkap.

Kelebihan penelitian ini terletak pada desain acak tersamar ganda yang memperkuat validitas hasil dan meminimalkan bias. Penggunaan empat parameter fisiologis (TAC, MDA, RPE, waktu pemulihan) memberikan gambaran holistik tentang pengaruh intervensi terhadap kondisi atlet. Durasi 14 hari juga relevan dengan siklus latihan intensif pada atlet muda.

Namun, ada beberapa keterbatasan. Jumlah sampel yang relatif kecil dapat membatasi generalisasi hasil. Durasi intervensi singkat membatasi pemahaman efek jangka panjang. Selain itu, tidak adanya kontrol secara ketat variabel eksternal seperti pola makan, hidrasi, dan kualitas tidur yang bisa memengaruhi status antioksidan dan kelelahan. Keterbatasan ini bisa menjadi dasar perbaikan metodologi di penelitian mendatang.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengembangan minuman cokelat berbasis ekstrak tart cherry efektif dalam meningkatkan kapasitas antioksidan, menurunkan stres oksidatif, mempercepat pemulihan, serta mengurangi persepsi kelelahan pada atlet muda. Hal ini menjawab tujuan utama untuk menciptakan minuman fungsional yang mendukung performa dan pemulihan selama latihan intensif. Temuan ini memberikan kontribusi penting bagi dunia olahraga, karena kombinasi nutrisi dari cokelat dan antosianin tart cherry bisa menjadi strategi pemulihan yang praktis dan bernilai tinggi. Ke depan, penelitian lanjutan disarankan melibatkan sampel lebih besar, intervensi lebih panjang, serta pengukuran biomarker inflamasi dan performa fisik tambahan untuk gambaran lebih komprehensif. Institusi olahraga dapat mempertimbangkan minuman ini sebagai bagian dari program nutrisi pemulihan atlet.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowtell, J., & Kelly, V. (2019). Efficient recovery from training with cherries. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 1–7.
- Brown, D., Stevenson, E., & Howatson, G. (2021). Polyphenol-rich supplements and exercise recovery: A systematic review. *Sports Medicine*, 51(1), 13–32.
- Levers, K., Dalton, R., Galvan, E., O'Connor, A., Goodenough, C., Simbo, S., ... & Williams, J. (2023). Effects of tart cherry supplementation on biomarkers of muscle damage and inflammation in athletes: A systematic review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 20(1), 1–14.
- McCormick, R., Peeling, P., Binnie, M., & Dawson, B. (2019). The recovery benefits of tart cherry for athletes. *Current Sports Medicine Reports*, 18(4), 149–156.
- McHugh, M.P., Connolly, D. A., Eston, R. G., & Garthe, I. (2023). Tart cherry juice reduces muscle damage and inflammatory markers following strenuous exercise. *Sports Medicine*, 53(4), 455–468.
- Morgan, P. T., Barton, M. J., Bowtell, J. L., & *et al.* (2020). Montmorency cherry supplementation reduces inflammation and oxidative stress in trained individuals. *European Journal of Sport Science*, 20(5), 678–688.
- Ramos, S., Martín, M. Á., Goya, L. (2022). Effects of cocoa and cocoa products on exercise performance, mood, and cardiovascular function. *Nutrients*, 14(3), 512–525.
- Vitale, K., Hueglin, S., Chapman, S., & *et al.* (2021). Effects of tart cherry supplementation on performance and recovery in athletes: A randomized trial. *Nutrients*, 13(13), 2451–2462.