



PENGARUH PEMBERIAN *TOMATO ELECTROLYTE DRINK* TERHADAP *PERFORMANCE RECOVERY* DAN STATUS HIDRASI PADA PELARI JARAK JAUH

NURUL FADILAH ARDI



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU GIZI
FAKULTAS KEDOKTERAN DAN GIZI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengaruh Pemberian *Tomato Electrolyte Drink* terhadap *Performance Recovery* dan Status Hidrasi pada Pelari Jarak Jauh” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Nurul Fadilah Ardi
I1504241036



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

NURUL FADILAH ARDI. Pengaruh Pemberian *Tomato Electrolyte Drink* terhadap *Performance Recovery* dan Status Hidrasi pada Pelari Jarak Jauh. Dibimbing oleh HADI RIYADI dan BUDI SETIAWAN.

Lari jarak jauh adalah salah satu nomor perlombaan pada cabang olahraga atletik atau dapat dikenal juga dengan *track and field*, yang menyebabkan adanya perbedaan kebutuhan antar individu. Penurunan performa seperti dehidrasi dapat terjadi akibat kehilangan cairan selama latihan ataupun perlombaan terutama pada aktivitas fisik yang berlangsung dalam durasi panjang dan berkesinambungan. Sehingga hidrasi memainkan peran penting dalam performa pencegahan cedera dan juga pada saat pemulihan pada atlet. Kehilangan cairan sebelum dan sesudah aktivitas fisik dapat menimbulkan penurunan kecepatan sehingga dapat menurunkan prestasi. Tomat mengandung likopen, antioksidan kuat yang mampu melawan *reactive oxygen species* (ROS) yang dihasilkan selama latihan berat. Lebih lanjut, penambahan elektrolit seperti natrium dan kalium sangat penting dalam formulasi *tomato electrolyte drink* untuk mengganti elektrolit yang hilang melalui keringat selama latihan. Berdasarkan hal ini tujuan umum dari penelitian adalah mengetahui pengaruh *tomato electrolyte drink* terhadap *recovery performance* dan status hidrasi pada pelari jarak jauh.

Penelitian ini menggunakan desain *within-subjects* dengan *repeated measures*, dimana, di mana peserta yang memenuhi kriteria inklusi menjalani tiga sesi pengujian yang dilaksanakan dengan jeda waktu 7 hari antar sesi. Berdasarkan desain penelitian, ditetapkan kriteria inklusi dan eksklusi untuk menjaga validitas serta keterfokusan penelitian. Tahapan penelitian terbagi menjadi 8 bagian yaitu: (1) penentuan formula *tomato electrolyte drink*; (2) pemilihan tomat; (3) pembuatan *tomato electrolyte drink*; (4) uji likopen (metode spektrofotometri); (5) uji organoleptik; (6) pembuatan jus tomat; (7) pengukuran kebutuhan cairan individu; (8) intervensi pemberian *tomato electrolyte drink*; (9) uji *recovery performance*; dan (10) uji status hidrasi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pemberian *Tomato Electrolyte Drink* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *performance recovery*, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai VO_{2max} setelah intervensi ($p < 0,001$). Selain itu, denyut nadi pemulihan setelah pemberian *Tomato Electrolyte Drink* mengalami penurunan yang signifikan ($Z = -2,805$; $p = 0,005$), yang mengindikasikan terjadinya pemulihan kardiovaskular setelah latihan. Namun, pada indikator status hidrasi, perubahan berat badan setelah latihan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada kelompok *Tomato Electrolyte Drink* ($Z = -1,342$; $p = 0,180$). Sebagai pembandingan, peningkatan VO_{2max} juga ditemukan pada kelompok jus tomat ($p = 0,029$), sedangkan kelompok placebo tidak menunjukkan perubahan yang signifikan ($p = 0,193$).

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian cairan pascalatihan, baik berupa jus tomat, air putih, maupun minuman elektrolit berbasis tomat, secara signifikan mendukung pemulihan denyut nadi pada pelari jarak jauh ketika volume cairan dipersonalisasi berdasarkan laju keringat individu. Perubahan berat badan yang signifikan hanya ditemukan pada kelompok jus tomat, yang mengindikasikan

perannya dalam mempertahankan status hidrasi pascalatihan, kemungkinan berkaitan dengan kandungan air alaminya yang tinggi. Meskipun tidak terdapat perbedaan bermakna antarjenis minuman terhadap pemulihan denyut nadi, pola pemulihan yang lebih stabil ditunjukkan oleh minuman elektrolit berbasis tomat, yang berpotensi dipengaruhi oleh kombinasi elektrolit dan glukosa dalam mendukung keseimbangan cairan dan regulasi kardiovaskular. Temuan ini menegaskan pentingnya strategi hidrasi yang dipersonalisasi, serta menunjukkan potensi minuman berbasis tomat sebagai alternatif pangan fungsional bagi atlet ketahanan.

Kata kunci: elektrolit, hidrasi, pelari jarak jauh, performance recovery, tomat



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SUMMARY

NURUL FADILAH ARDI. The Effect of Tomato Electrolyte Drink Supplementation on Performance Recovery and Hydration Status in Long-Distance Runners. Supervised by HADI RIYADI and BUDI SETIAWAN.

Long-distance running is one of the competitive events in athletics (track and field), in which physiological demands vary considerably among individuals. Performance impairment, particularly due to dehydration, may occur as a result of fluid loss during training or competition, especially during prolonged and continuous physical activity. Therefore, adequate hydration plays a crucial role in maintaining athletic performance, preventing injuries, and facilitating post-exercise recovery. Fluid loss before and after exercise may reduce running speed, ultimately compromising athletic performance. Tomatoes contain lycopene, a potent antioxidant capable of scavenging reactive oxygen species (ROS) generated during strenuous exercise. Furthermore, the addition of electrolytes such as sodium and potassium is essential in the formulation of a Tomato Electrolyte Drink to replace electrolytes lost through perspiration during exercise. Accordingly, the primary objective of this study was to investigate the effects of a Tomato Electrolyte Drink on recovery performance and hydration status in long-distance runners.

This study employed a within-subject repeated-measures design, in which participants who met the inclusion criteria completed three intervention sessions with a seven-day washout period between sessions. Inclusion and exclusion criteria were established to ensure the validity and specificity of the study. The research consisted of ten stages: (1) formulation of the Tomato Electrolyte Drink; (2) tomato selection; (3) preparation of the Tomato Electrolyte Drink; (4) lycopene analysis using spectrophotometry; (5) sensory evaluation; (6) preparation of tomato juice; (7) determination of individual fluid requirements; (8) intervention with the Tomato Electrolyte Drink; (9) assessment of recovery performance; and (10) evaluation of hydration status.

The results demonstrated that the Tomato Electrolyte Drink significantly improved post-exercise recovery, as evidenced by a significant increase in $VO_2\text{max}$ ($p < 0.001$). Furthermore, post-exercise heart rate recovery improved significantly following consumption of the Tomato Electrolyte Drink ($Z = -2.805$; $p = 0.005$), indicating enhanced cardiovascular recovery after exercise. However, no significant change in body mass, an indicator of hydration status, was observed in the Tomato Electrolyte Drink group ($Z = -1.342$; $p = 0.180$). In comparison, tomato juice also significantly improved $VO_2\text{max}$ ($p = 0.029$), whereas no significant change was observed in the placebo (water) group ($p = 0.193$).

The findings of this study indicate that post-exercise fluid replacement with tomato juice, water, or a tomato-based electrolyte drink significantly enhanced heart rate recovery in long-distance runners when fluid volume was individualized according to each participant's sweat rate. A significant change in post-exercise body weight was observed only in the tomato juice group, suggesting its potential role in maintaining post-exercise hydration status, possibly due to its naturally high water content. Although no significant differences were identified among the three beverages regarding heart rate recovery, the Tomato Electrolyte Drink exhibited a more stable recovery pattern, which may be attributed to the combined effects of

electrolytes and glucose in supporting fluid balance and cardiovascular regulation. These findings highlight the importance of individualized hydration strategies and demonstrate the potential of tomato-based beverages as functional foods for endurance athletes.

Keywords: electrolytes, hydration, long-distance runners, recovery performance, tomato.

Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

**PENGARUH PEMBERIAN *TOMATO ELECTROLYTE DRINK*
TERHADAP *PERFORMANCE RECOVERY* DAN STATUS
HIDRASI PADA PELARI JARAK JAUH**

NURUL FADILAH ARDI

Tesis
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Magister Ilmu Gizi

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU GIZI
FAKULTAS KEDOKTERAN DAN GIZI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
1 Prof. Dr. Katrin Roosita S.P., M.Si.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Pengaruh Pemberian *Tomato Electroyte Drink* terhadap
Performance Recovery dan Status Hidrasi pada Pelari Jarak Jauh
Nama : Nurul Fadilah Ardi
NIM : 11504241036

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Hadi Riyadi, M.S.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Budi Setiawan, M.S.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Rimbawan
NIP 196204061986031002

Dekan Fakultas Kedokteran dan Gizi
Dr. dr. Ivan Rizal Sini, GDRM., MMIS., MBA.,
FRANZCOG., Sp. OG.
NPI 202501197205091001

Tanggal Ujian: 16 Juli 2026

Tanggal Lulus: 06 AUG 2026



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tesis yang berjudul "*Pengaruh Pemberian Tomato Electrolyte Drink terhadap Performance Recovery dan Status Hidrasi pada Pelari Jarak Jauh*" dapat diselesaikan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2025 hingga Februari 2026 sebagai bagian dari penyelesaian studi pada Program Magister Ilmu Gizi, IPB University. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT., atas limpahan rahmat, kesehatan, dan kemudahan yang diberikan selama proses penelitian dan penulisan tesis.
2. Para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Hadi Riyadi, MS., dan Prof. Dr. Ir. Budi Setiawan, MS., yang telah membimbing dan banyak memberi saran serta arahan dalam proses penulisan tesis ini.
3. Prof. Dr. Rimbawan selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Gizi dan Dr. Agr. Eny Palupi, STP., M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Magister Ilmu Gizi IPB University atas dukungan dan arahan selama masa studi.
4. Prof. Dr. Ir. Evy Damayanthi selaku narasumber saat ujian kolokium, yang memberikan banyak saran untuk memperbaiki kualitas dari proposal tesis yang akan dilaksanakan.
5. Prof. Dr. Katrin Roosita S.P., M.Si., selaku Penguji Luar Komisi Pembimbing, yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam memperkaya hasil akhir dari tesis.
6. Bapak Sinung Nugroho, para atlet yang menjadi subjek penelitian, serta Prof. Dr. Drs. Ardi Nusri, M.Kes. atas bantuan dan dukungan selama pelaksanaan penelitian.
7. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, dan staf laboratorium IPB University yang telah memberikan bantuan selama proses studi dan penelitian.
8. Teman-teman seperjuangan dalam mengejar gelar Magister IPB University, atas dukungan, kebersamaan dan semangat yang diberikan.
9. Teman terkasih, Angelina Putri Tamba, S.Pi., M.Si., Muhammad Irsyad Yusma, S.Hut., dan Khairul Ikhwanda Ginting, S.Pt., M.Si., yang telah mendukung segala hal dari akademik hingga non-akademik dan mengiringi dalam setiap langkah Penulis dalam menyelesaikan kegiatan akademik selama proses belajar di IPB University.
10. Kedua orang tua, Bapak Ardi Nusri dan Ibu Yulius Nazra, dan, Vivi Lathifah Ardi dan Taufiqul Hakim Ardy, selaku saudara penulis, yang telah memberikan dukungan moral dan material yang sangat berharga untuk penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan baik bersifat langsung ataupun tidak langsung.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Nurul Fadilah Ardi

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	5
1.6 Hipotesis	6
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pelari Jarak Jauh dan Kaitannya dengan Gizi	7
2.2 Kebutuhan Cairan dan Elektrolit pada Atlet	7
2.3 Dehidrasi dan Dampaknya terhadap Performa	8
2.5 Minuman Elektrolit: Komposisi dan Fungsi	8
2.6 Kandungan Gizi pada Tomat dan Efeknya terhadap Kesehatan	9
2.7 Kerangka Pemikiran	10
III METODE	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Desain Penelitian	12
3.3 Alat dan Bahan	13
3.4 Tahapan Penelitian	13
3.5 Analisis Data	21
3.6 Pertimbangan Etik	22
3.7 Definisi Operasional	22
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Karakteristik <i>Tomato Electrolyte Drink</i>	23
4.2 Karakteristik Subjek Penelitian	27
4.3 Personalisasi Kebutuhan Cairan Subjek Penelitian	30
4.4 Pengaruh <i>Tomato Electrolyte Drink</i> terhadap <i>Recovery Performance</i>	31
4.5 Pengaruh <i>Tomato Electrolyte Drink</i> terhadap Status Hidrasi	35
V SIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Simpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	49
RIWAYAT HIDUP	69

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

1	Konsentrasi elektrolit pada keringat manusia normal dan perbandingannya dengan plasma	9
2	Kandungan gizi tomat per 100 g	9
3	Komposisi kimia <i>tomato powder</i>	10
4	Formula <i>Tomato Electrolyte Drink</i>	14
5	Rata-rata kadar likopen bubuk tomat	23
6	Hasil uji hedonik <i>Tomato Electrolyte Drink</i>	25
7	Hasil uji mutu hedonik <i>Tomato Electrolyte Drink</i>	25
8	Karakteristik dasar subjek penelitian	28
9	Rerata $\pm$ SD karakteristik subjek dan asupan makan	28
10	Perhitungan kebutuhan cairan individu subjek penelitian	30
11	Hasil uji Wilcoxon denyut nadi pemulihan setelah pemberian minuman jus, air, dan <i>Tomato Electrolyte Drink</i>	31
12	Analisis varians pengukuran berulang (<i>Repeated Measures ANOVA</i>) terhadap perubahan VO_2max pada berbagai kondisi minuman	32
13	Klasifikasi status hidrasi berdasarkan jenis minuman	35
14	Hasil uji <i>Wilcoxon</i> perubahan berat badan setelah pemberian minuman jus, air, dan <i>Tomato Electrolyte Drink</i>	35

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pemikiran penelitian	11
2	Desain penelitian <i>within - subjects</i> dengan <i>repeated measures</i>	12
3	Tomat varietas Servo F1	15
4	Pembuatan jus tomat	16
5	Prosedur pembuatan <i>Tomato Electrolyte Drink</i> (di modifikasi dari So <i>et al.</i> (2020) Songklanakarin Journal of Science & Technology. 42(1):27-34). Modifikasi dilakukan pada tahapan setelah pembuatan bubuk tomat, yaitu proses pelarutan bubuk tomat dengan air, penambahan bahan formulasi, hingga proses akhir pembuatan minuman.	17
6	Diagram kotak (<i>boxplot</i>) distribusi skor mutu hedonik di seluruh atribut sensorik <i>Tomato Electrolyte Drink</i> . Data disajikan sebagai median (garis tengah), rentang interkuartil (kotak), dan rentang (garis vertikal). Nilai pencilan ditampilkan sebagai titik individual. Evaluasi sensorik dilakukan menggunakan skala kualitas hedonik 9 poin, di mana nilai yang lebih tinggi mewakili intensitas persepsi yang lebih kuat dari setiap atribut.	26
7	Diagram alir subjek penelitian	27
8	Pemulihan denyut nadi setelah intervensi minuman yang berbeda (jus, air, dan elektrolit) yang diukur pada beberapa titik waktu setelah berolahraga.	



Nilai disajikan sebagai rata-rata. *Perbedaan signifikan dibandingkan dengan nilai sebelum intervensi ($p < 0,05$).

32

- 9 Perubahan $VO_2\max$ sebelum dan sesudah latihan pada tiga kondisi minuman (jus tomat, air, dan *tomato electrolyte drink*). Data disajikan dalam bentuk estimated marginal means. Seluruh kelompok menunjukkan peningkatan $VO_2\max$, namun tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($p > 0,05$).

33

- 10 Perubahan berat badan setelah mengonsumsi minuman. Nilai disajikan sebagai nilai rata-rata.

36

DAFTAR LAMPIRAN

1	Surat Kaji Etik	51
2	<i>Informed assent</i>	52
3	<i>Informed consent</i>	55
4	Kuesioner penelitian & formulir <i>sweat rate</i>	56
5	Formulir komposisi tubuh	57
6	Formulir <i>food recall</i> 24 h	58
7	Formulir kebugaran fisik	60
8	Tabel prediksi nilai $VO_2\max$ dengan modifikasi <i>bleep test</i> dalam menit dan detik	61
9	Formulir uji organoleptik	64
10	Formulir uji hedonik	65
11	Formulir uji mutu hedonik	67



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lari jarak jauh adalah salah satu nomor perlombaan pada cabang olahraga atletik atau dapat dikenal juga dengan *track and field* yang memiliki lintasan yang lebih jauh yaitu mulai dari 5 km hingga marathon (>42,195 km) (Purnomo dan Dapan 2017). Kebutuhan pelari jarak jauh dengan *sprinter* ataupun pelari nomor perlombaan lainnya tentu berbeda karena jarak, waktu dan komponen lainnya menentukan hal ini. Penurunan performa atau gangguan selama latihan dapat terjadi meskipun dehidrasi yang dialami masih di bawah kurang dari 2% kehilangan massa tubuh, terutama pada aktivitas fisik yang berlangsung dalam durasi panjang dan berkesinambungan (Casa *et al.* 2019). Namun, peningkatan berat badan lebih dari 2% pada pelari juga tidak dianjurkan, karena hal tersebut dapat mengindikasikan konsumsi cairan yang berlebihan selama aktivitas fisik (Cheuvront *et al.* 2007).

Hidrasi memainkan peran penting dalam performa, pencegahan cedera dan juga pada saat pemulihan pada atlet (Judge *et al.* 2021). Asupan cairan yang cukup sepanjang musim dapat secara efektif mengoptimalkan pelatihan, performa, pemulihan dan kesehatan atlet secara keseluruhan (Fauza dan Astuti 2021). Pelari jarak jauh harus lebih memperhatikan status hidrasi mereka, seperti di Provinsi Sumatera Utara, yang memiliki keadaan cuaca yang berubah-ubah sehingga latihan para atlet pun harus disesuaikan dengan keadaan cuaca. Bahkan pada atlet yang merupakan penduduk asli negara tropis pun tampaknya tidak memberikan keuntungan dalam mengurangi dampak negatif panas pada kinerja dan kejadian gejala yang berhubungan dengan panas jika atlet tidak terpapar panas dalam minggu-minggu sebelum perlombaan (Bouscaren *et al.* 2021). Maka dari itu penting bagi atlet dalam untuk tetap dalam kondisi terhidrasi.

Elektrolit adalah zat yang menghantarkan listrik saat dilarutkan dalam pelarut seperti air yang berguna untuk menjaga hidrasi yang tepat, menyalurkan impuls saraf dan mengatur kadar pH (Mahendra 2023). Elektrolit yang penting meliputi natrium, kalium, klorida, magnesium, kalsium, fosfat, dan bikarbonat, yang pada saat tertentu dapat terjadi ketidakseimbangan yang akan mengganggu fungsi tubuh yang normal dan dapat menyebabkan komplikasi yang mengancam nyawa (Shrimanker dan Bhattarai 2023). Pada atlet cairan dan elektrolit hilang selama berkeringat disebut dengan hipohidrasi, yang secara negatif memengaruhi kinerja latihan, kesehatan, dan mekanisme termoregulasi (Keefe *et al.* 2024).

Natrium yang merupakan salah satu komponen elektrolit berperan penting dalam perkembangan otot, jika terjadi ketidakseimbangan akan menyebabkan kram otot dan hyponatremia (Veniamakis *et al.* 2022). Pelari jarak jauh yang mempunyai durasi olahraga yang tinggi akan sering dikaitkan dengan hiponatremia, yang dapat menyebabkan gejala-gejala seperti muntah, mual, pusing, pening dan juga kelelahan (O'Connor 2006). Kondisi ini sangat tidak diinginkan oleh atlet karena dapat mengganggu dalam performa saat latihan ataupun perlombaan. Kalium sebagai komponen penting lainnya untuk atletik yang berperan dalam kontraksi otot dan membantu mengatur keseimbangan cairan, tekanan darah, detak jantung, bahkan dapat mendukung aktivitas saraf dan menjaga keseimbangan elektrolit selama latihan ataupun pertandingan (Rogulski *et al.* 2025). Minuman rehidrasi

yang mengandung natrium dan karbohidrat lebih efektif dalam mempertahankan cairan tubuh setelah dehidrasi akibat olahraga dibandingkan air putih, terutama dalam dua jam pertama pemulihan (Ly *et al.* 2023). Maka dari itu pemulihan cairan pasca latihan sebaiknya tidak hanya mencakup air, akan tetapi juga minuman elektrolit untuk menggantikan kehilangan mineral esensial yang penting dalam kinerja atlet.

Minuman elektrolit adalah salah satu pangan olahan diet khusus yang disebut dengan minuman olahraga, yang mana diperuntukkan untuk orang yang melakukan olahraga *endurance* dengan mempertimbangkan kandungan cairan, elektrolit dan energi sehingga dapat meningkatkan, mempertahankan dan memulihkan tenaga pada jenis olahraga ini (PerBPOM 2019). Minuman elektrolit saat ini banyak dikomersialkan dan digunakan oleh para atlet untuk menunjang kinerja terutama untuk menggantikan kehilangan cairan dan mineral selama aktivitas fisik. Tetapi untuk minuman olahraga (*sport drinks*) saat ini masih banyak dan tidak disesuaikan dengan kebutuhan individual atlet. Hal ini didukung oleh Tambalis (2022) asupan minuman energi kalori yang lebih tinggi dapat meningkatkan berat badan jika asupan energi dari konsumsinya tidak dinilai dengan hati-hati sebagai bagian dari total asupan energi harian. Saat ini masyarakat memiliki perhatian yang tinggi tentang kealamian makanan (Roman *et al.* 2017). Maka pemenuhan kebutuhan atlet dapat didasarkan dari pangan-pangan fungsional yang dapat dimanfaatkan untuk menunjang kinerja dalam meraih tujuan masing-masing atlet yaitu podium tertinggi.

Tomat (*Solanum lycopersicum*) adalah salah satu tanaman yang dahulunya diklasifikasikan sebagai “*dessert vegetable*” (sayur pencuci mulut), bahkan tomat adalah salah satu pangan fungsional karena komposisi dari komponen-komponen bioaktif yang merupakan sumber yang baik untuk mineral, serat, vitamin dan antioksidan seperti likopen (Suarez *et al.* 2013). Tomat mengandung major elements mineral yaitu kalsium, kalium, natrium, fosfor, magnesium, sulfur dan juga klorin (Ali *et al.* 2020). Kalium merupakan unsur yang paling dominan pada tomat, yang dalam 100g terdapat 403.02 mg (Ali *et al.* 2020). Konsumsi sebanyak 200g tomat setara dengan $\pm 11\%$ pemenuhan kebutuhan dari kalium untuk seseorang diatas umur 14 tahun (Suarez *et al.* 2013). Hal ini menunjukkan bahwa tomat adalah salah satu pangan potensial untuk dikembangkan bagi para atlet pelari jarak jauh yang berusaha memenuhi mineral yang hilang akibat aktivitas fisik yang berkepanjangan.

Tomat tidak hanya mengandung mineral tetapi juga mengandung likopen. Likopen, seperti karotenoid lainnya yang berasal dari buah-buahan ataupun sayur yang berwarna (Santini *et al.* 2013). Molekul ini diketahui sebagai faktor potensial dalam menurunkan level serum pada biomarker stress oksidatif (Górecka *et al.* 2020). Likopen yang merupakan salah satu antioksidan yang mampu dalam melawan *reactive oxygen species* (ROS), bahkan terbukti dapat menurunkan lipoprotein densitas rendah (LDL) dan meningkatkan lipoprotein densitas tinggi (HDL) (Bin-Jumah *et al.* 2022). Stress oksidatif dalam tubuh manusia inilah yang menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan ROS yang ditandai dalam serat otot selama istirahat yang produksinya meningkat selama kontraksi otot (Moir *et al.* 2023). Atlet dengan durasi yang panjang berkaitan erat dengan stress oksidatif yang dapat menyebabkan kelelahan dan kerusakan stress oksidatif otot yang akan memengaruhi kapasitas olahraga dan merusak kesehatan tubuh (Wang *et al.* 2021).

Lari jarak jauh yang memiliki durasi yang panjang baik pada saat kompetisi ataupun perlombaan dapat menyebabkan peningkatan produksi ROS, yang akan menyebabkan ketidakseimbangan antara ROS dan antioksidan, sehingga disarankan untuk mengonsumsi antioksidan yang berasal dari buah-buahan alami yang kaya dengan antioksidan (Daud *et al.* 2023). Atlet ketahanan, termasuk pelari jarak jauh, lebih menyukai hidrasi, gizi, tidur dan istirahat dalam hal penggunaan, keyakinan, dan efektivitas dalam strategi pemulihan (Braun-Trocchio *et al.* 2022). Manfaat sinergis antara elektrolit dan senyawa bioaktif dalam tomat ini memberikan nilai tambah sebagai produk yang dapat dikonsumsi oleh atlet terutama pada nomor perlombaan jarak jauh yang dapat digunakan sebagai agen hidrasi dan juga sebagai sumber pangan fungsional dalam mendukung pemulihan dan ketahanan tubuh atlet secara menyeluruh.

Produksi tomat di Sumatera Utara pada tahun 2024 adalah sebanyak 2.156.612,60 kuintal, hal ini menunjukkan kenaikan dibandingkan tahun sebelumnya yaitu 2.038.676 kuintal (BPS 2025). Produksi yang sangat tinggi ini memicu adanya *food loss*, yaitu merujuk pada semua pangan yang diproduksi untuk konsumsi manusia tetapi tidak dimakan oleh manusia karena adanya penurunan kuantitas atau kualitas pangan (FAO 2019). *Food loss* di Provinsi Sumatera Utara meningkat setiap tahunnya, bahkan menjadi yang terbesar diantara Provinsi Sumatera lainnya, sehingga dibutuhkan adanya teknologi yang efektif untuk pengawetan dan pendistribusian kembali pangan (Fahmi dan Yunanda 2024). Salah satu cara untuk menurunkan adanya *food loss* pada produk-produk segar ini adalah dengan cara mengolah kembali bahan pangan tersebut agar dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama (TWH 2024).

Penggunaan tomat di Provinsi Sumatera Utara menjadi salah satu upaya dalam menurunkan tingkat *food loss* terhadap pangan tomat sekaligus menjadi upaya dalam pengembangan minuman elektrolit yang berguna bagi para atlet jarak jauh yang dapat mengoptimalkan kinerja performa. Produk fungsional berpotensi membantu meningkatkan kesehatan fisik dan mental yang mengarah pada kualitas hidup yang lebih tinggi (Topolska *et al.* 2021). Meskipun tomat dikenal sebagai salah satu pangan yang memiliki senyawa bioaktif likopen yang tinggi, tetapi penelitian untuk pelari jarak jauh yang membutuhkan pemulihan yang cepat dan menjaga hidrasi masih sangat terbatas. Ardi (2023) menyebutkan bahwa atlet yang berdomisili di Provinsi Sumatera Utara, khususnya atlet pelari jarak jauh, masih kurang mengonsumsi makanan yang mengandung sumber likopen yang baik yang dapat dilihat dari hasil *food recall*. Sehingga, saat pemulihan atlet hanya didukung dari *massage* ataupun tidur, yang hal ini dapat didukung juga dengan pemberian gizi yang baik yaitu salah satunya makanan yang tinggi akan likopen. Berdasarkan hal ini maka peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Pemberian *Tomato Electrolyte Drink* Terhadap *Performance Recovery* dan Status Hidrasi Pada Pelari Jarak Jauh”.

1.2 Perumusan Masalah

Kekurangan hidrasi dan pemulihan yang tidak optimal merupakan permasalahan yang sering dihadapi oleh pelari jarak jauh. Salah satu pendekatan yang potensial dalam mendukung hidrasi dan pemulihan adalah penggunaan minuman elektrolit berbasis pangan fungsional seperti tomat yang kaya akan

mineral dan senyawa bioaktif. Berdasarkan hal tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan dalam beberapa pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana formulasi *tomato electrolyte drink* pada penelitian?
2. Bagaimana karakteristik organoleptik dari setiap formulasi *tomato electrolyte drink*?
3. Apakah *tomato electrolyte drink* efektif berpengaruh terhadap pemulihan performa (*performance recovery*) pada pelari jarak jauh berdasarkan denyut nadi?
4. Apakah *tomato electrolyte drink* berpengaruh terhadap status hidrasi pelari jarak jauh berdasarkan perubahan berat badan?

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian adalah mengetahui pengaruh *tomato electrolyte drink* terhadap *recovery performance* dan status hidrasi pada pelari jarak jauh.

1.3.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan arah dan fokus penelitian secara lebih rinci. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk mencapai beberapa sasaran sebagai berikut.

- a. Membuat formula minuman elektrolit berbasis tomat (*tomato electrolyte drink*).
- b. Menganalisis karakteristik organoleptik dari setiap formula minuman elektrolit berbasis tomat (*tomato electrolyte drink*).
- c. Menganalisis pengaruh minuman elektrolit berbasis tomat (*tomato electrolyte drink*) terhadap *recovery performance* atlet pelari jarak jauh berdasarkan perubahan denyut nadi.
- d. Menganalisis pengaruh minuman elektrolit berbasis tomat (*tomato electrolyte drink*) terhadap status hidrasi atlet pelari jarak jauh berdasarkan perubahan berat badan.

1.4 Manfaat

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat, baik secara praktis maupun teoritis. Manfaat tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam bidang olahraga, khususnya bagi pelari jarak jauh dan pengembangan produk pangan fungsional.

a. Manfaat Praktis:

1. Bagi Pelari Jarak Jauh:

Penelitian ini dapat memberikan informasi yang berguna bagi pelari jarak jauh dalam meningkatkan pemulihan performa dan status hidrasi mereka melalui konsumsi *Tomato Electrolyte Drink*. Dengan hasil penelitian ini, pelari dapat mengadopsi strategi hidrasi yang lebih efektif dan alami, yang dapat meningkatkan daya tahan serta kinerja dalam latihan dan perlombaan.

2. Bagi Praktisi Gizi dan Tenaga Kesehatan

Temuan dari penelitian ini dapat digunakan oleh ahli gizi dan tenaga kesehatan olahraga sebagai bahan edukasi dan intervensi gizi fungsional bagi atlet maupun individu yang aktif secara fisik. Informasi ini berguna dalam memberikan rekomendasi asupan cairan yang tepat berdasarkan kebutuhan dan aktivitas individu.

3. **Bagi Pelatih dan Pengelola Tim Olahraga:**
 Penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pelatih dan pengelola tim olahraga dalam merancang Program pemulihan dan hidrasi yang lebih tepat dan sesuai dengan kebutuhan atlet, terutama di wilayah tropis yang memiliki tantangan suhu dan kelembapan tinggi.
4. **Bagi Pengembangan Produk Fungsional:**
 Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan produk minuman elektrolit yang lebih alami dan berbasis bahan pangan lokal, seperti tomat, yang dapat digunakan oleh atlet dalam mendukung performa dan pemulihan mereka.

b. **Manfaat Teoritis:**

1. **Bagi Ilmu Pengetahuan Olahraga**
 Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pemahaman tentang peran hidrasi dan pemulihan dalam olahraga, khususnya untuk atlet pelari jarak jauh. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan gambaran lebih mendalam mengenai efek senyawa bioaktif seperti likopen dalam tomat terhadap kesehatan dan kinerja atlet.
2. **Bagi Ilmu Gizi**
 Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang peran komponen bioaktif dalam tomat, seperti likopen dan mineral elektrolit (natrium, kalium, magnesium), terhadap status hidrasi dan pemulihan tubuh. Selain itu, penelitian ini memperkuat peran gizi olahraga dalam menunjang performa atletik dan membuka arah baru bagi intervensi gizi berbasis pangan lokal yang lebih berkelanjutan.
3. **Bagi Pengembangan Pangan Fungsional**
 Penelitian ini dapat memperluas kajian tentang manfaat pangan fungsional, khususnya tomat, dalam mendukung kesehatan dan performa atlet. Dengan demikian, penelitian ini juga dapat membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut mengenai potensi bahan pangan lokal dalam produk-produk olahraga.
4. **Bagi Peningkatan Kesehatan Masyarakat**
 Penelitian ini diharapkan dapat mendorong peningkatan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya konsumsi pangan fungsional yang kaya akan elektrolit dan antioksidan, serta pengaruhnya terhadap kesehatan secara keseluruhan, terutama bagi mereka yang aktif dalam kegiatan fisik atau olahraga.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini difokuskan pada pelari jarak jauh yang berdomisili dan aktif berlatih di Provinsi Sumatera Utara, lebih tepatnya pada atlet Physical Center Sumatera Utara. Subjek yang digunakan adalah atlet dengan kriteria tertentu yang mengikuti Program latihan intensif dan memiliki durasi aktivitas yang cukup tinggi.

Intervensi yang diberikan berupa *tomato electrolyte drink* yang diformulasikan dari tomat segar sebagai sumber elektrolit dan senyawa bioaktif alami. Penelitian ini membatasi pengukuran pada dua aspek utama yaitu pemulihan performa (melalui indikator seperti denyut nadi pemulihan dan waktu pemulihan) serta status hidrasi (melalui pengukuran berat badan sebelum dan sesudah latihan). Penelitian dilakukan dalam rentang waktu tertentu setelah latihan intensitas tinggi, dengan membandingkan kelompok intervensi dan kontrol. Penelitian ini tidak mencakup evaluasi performa jangka panjang seperti peningkatan $VO_2 \max$ maupun pengaruh pada teknik atau strategi lari atlet.

1.6 Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah dijelaskan, maka dapat disusun hipotesis dari penelitian. Hipotesis tersebut adalah sebagai berikut:

1. Hipotesis 1 (H1): Terdapat perbedaan karakteristik organoleptik (warna, aroma, tekstur, rasa, *aftertaste*, dan penerimaan keseluruhan) antara formula *tomato electrolyte drink* dengan nilai pembanding.
2. Hipotesis 2 (H1): Konsumsi *tomato electrolyte drink* menurunkan denyut nadi selama fase pemulihan (*recovery*) secara signifikan terhadap *recovery performance* pada pelari jarak jauh.
3. Hipotesis 3 (H1): Konsumsi *tomato electrolyte drink* mempertahankan status hidrasi secara signifikan dengan meminimalkan penurunan berat badan setelah aktivitas pada pelari jarak jauh

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelari Jarak Jauh dan Kaitannya dengan Gizi

Pelari jarak jauh adalah salah satu nomor perlombaan pada cabang olahraga atletik (*track and field*) yang didalamnya terbagi lagi menjadi beberapa nomor berdasarkan panjang lintasannya. Nomor perlombaan ini adalah olahraga ketahanan, artinya perlu latihan berat yang berkepanjangan dalam setiap proses latihan ataupun perlombaannya. Hal ini didukung oleh Nielsen *et al.* (2004) kelelahan mekanisme penghasil leukosit setelah latihan berat yang berkepanjangan membuat atlet rentan terhadap penyakit. Latihan aerobik atau ketahanan yang berat umumnya diketahui memicu ROS dan produksi spesies nitrogen reaktif yang berlebihan karena peningkatan metabolisme, yang menyebabkan stress oksidatif dan cedera terkait (He *et al.* 2016).

Atlet dengan kategori daya tahan (*endurance*) yang memiliki strategi gizi yang dipersonalisasi termasuk asupan karbohidrat, hidrasi seimbang dan suplementasi mikronutrien berpersamaan penting dalam meningkatkan performa, daya tahan, dan pemulihan (Fatima *et al.* 2024). Rekomendasi karbohidrat, hidrasi, dan beberapa suplemen seperti nitrat, antioksidan, kafein, dan probiotik terbukti memiliki manfaat pada atlet *endurance* dalam meningkatkan performa (Ghosh *et al.* 2024). Dalam pemenuhan kebutuhannya pada atlet *endurance* juga tidak hanya memperhatikan pemberian gizi makro tetapi harus menyadari pentingnya menjaga keseimbangan hidrasi dengan menghindari dehidrasi lebih dari 2-4% BB ataupun mencegah terjadinya overhidrasi (Armstrong 2021).

2.2 Kebutuhan Cairan dan Elektrolit pada Atlet

Air adalah bagian dari gizi yang paling besar massanya dalam tubuh dan memiliki dampak terhadap fungsi dan struktur apabila terjadi ketidakseimbangan (Horswill dan Fransen 2016). Cairan berfungsi untuk menjaga suhu tubuh agar tetap stabil dan menjaga keseimbangan asam-basa pada tubuh (Kemenkes RI 2021). Kehilangan cairan sebelum dan sesudah aktivitas fisik dapat menimbulkan penurunan kecepatan sehingga dapat menurunkan prestasi (Hidayatulloh dan Gandasari 2023). Atlet yang berolahraga dalam berbagai kondisi berisiko mengalami gangguan keseimbangan cairan tubuh, khususnya hipohidrasi, terutama akibat kehilangan keringat akibat olahraga (Volterman dan Moore 2014). Horswill dan Fransen (2016) juga menyatakan bahwa status hidrasi seseorang dapat dipengaruhi dari faktor-faktor perilaku minum, akses ke cairan, aktivitas fisik termasuk cara, intensitas, dan durasi aktivitas dan lingkungan makro dan mikro. Atlet perlu mengonsumsi cairan yang cukup untuk menggantikan kehilangan cairan selama latihan. Euhidrasi (status hidrasi seimbang) dapat dicapai dengan mengonsumsi cairan dan elektrolit yang cukup dalam 8–24 jam setelah latihan, dan cara mengukurnya dapat beragam yaitu melalui *urine-specific gravity* atau menimbang berat badan tanpa pakaian setelah buang air kecil di pagi hari dan meratakannya (Muth 2015).

2.3 Dehidrasi dan Dampaknya terhadap Performa

Dehidrasi adalah kejadian ketika tubuh kehilangan lebih banyak air daripada kebutuhannya, sebagian besar dari volume intraseluler (Srivastav *et al.* 2024). Ketika dehidrasi terjadi denyut jantung cenderung meningkat, tekanan darah naik, dan suhu tubuh mengalami peningkatan sehingga dapat mempengaruhi kemampuan individu dalam mencapai kebugaran fisik yang maksimal dan membuat individu rentan terhadap cedera (Hidayatulloh dan Gandasari 2023). Carlton dan Orr (2015) menunjukkan bahwa dehidrasi berdampak negatif pada performa fisik untuk aktivitas yang berlangsung dari 30 detik. Dehidrasi secara signifikan meningkatkan kerusakan DNA oksidatif selama latihan, tetapi dengan penggantian cairan dengan air atau minuman olahraga meredakannya secara setara (Paik *et al.* 2009). Georgescu *et al.* (2017) menyatakan bahwa peningkatan osmolalitas plasma, sehingga diusulkan agar meningkatkan konsentrasi antioksidan segera setelah olahraga. Hidrasi sangat perlu dilakukan kepada atlet untuk terus menjaga kebugaran fisik dan didukung dengan penambahan konsentrasi antioksidan yang dapat mempercepat proses pemulihan.

2.4 Recovery Performance pada Atlet

Pemulihan (*recovery*) dibutuhkan oleh atlet untuk menunjang performa dalam kegiatan selanjutnya. Atlet ketahanan seperti pelari jarak jauh ini perlu menerapkan berbagai strategi pemulihan yang khusus untuk pelatihan dan kompetisi mereka (Braun-Trocchio *et al.* 2022). Apabila pemulihan atlet pasca-olahraga terganggu maka akan menyebabkan tubuh sulit untuk homeostasis fisiologis, mengisi kembali simpanan energi, memperbaiki kerusakan otot, dan mendorong adaptasi yang diinginkan terutama akan menurunkan performa olahraga (Naderi *et al.* 2025). Salah satu strategi dalam mempercepat proses pemulihan ini adalah intervensi gizi dengan cara memperhatikan konsumsi gizi yang tepat agar dapat mempercepat proses pemulihan yang optimal (Ihsan *et al.* 2024). Bahkan sistem imun, cedera olahraga, aktivitas fisik dan gizi olahraga klinis saling berkaitan erat terutama berperan untuk mengurangi risiko cedera, mempercepat pemulihan dan memperpendek rehabilitasi (Kozjek *et al.* 2025). Strategi gizi dapat dipenuhi melalui hidrasi. Hidrasi berperan penting dalam mengurangi risiko cedera dan mengoptimalkan pemulihan (Chodkowski 2024). Maka diperlukan strategi gizi yang baik dalam proses pemulihan pada atlet.

2.5 Minuman Elektrolit: Komposisi dan Fungsi

Elektrolit adalah zat yang mana ketika dilarutkan dalam suatu larutan, akan terpisah (atau terdisosiasi) menjadi partikel-partikel bermuatan listrik (Willis 2019). Zat-zat yang dikatakan sebagai elektrolit itu ada banyak seperti, natrium (yang paling melimpah dalam cairan ekstraseluler dan berperan penting dalam mengatur keseimbangan cairan, volume darah, serta tekanan darah), kalium (Sebagian besar berada pada cairan intraseluler dan berperan dalam mempertahankan fungsi sel, penghantaran impuls saraf dan kontraksi otot, klorida (anion utama yang bekerja dengan natrium dalam mempertahankan keseimbangan asam-basa serta mendukung proses pencernaan, kalsium (terdapat didalam darah maupun tulang yang berperan dalam kontraksi otot, proses pembekuan darah, transmisi impuls saraf serta pensinyalan sel) dan masih banyak zat-zat lainnya yang dalam jumlah

yang lebih sedikit dalam tubuh (Cockerill & Gillian 2012; Peters 2025). Manusia menunjukkan kemampuannya dalam mengatur keseimbangan air dan elektrolit tubuh setiap hari, akan tetapi beban latihan dan stress lingkungan dapat membatasi kemampuan ini (Montain *et al.* 2006). Kehilangan elektrolit melalui keringat merupakan fungsi dari laju keringat dan komposisi keringat, dan keduanya bervariasi dari waktu ke waktu serta sangat dipengaruhi oleh intensitas latihan, kondisi lingkungan, dan fisiologi individu (Hawley dan Yeo 2016).

Tabel 1 Konsentrasi elektrolit pada keringat manusia normal dan perbandingannya dengan plasma

	Keringat (mmol/l)	Plasma (mmol/l)	Kehilangan 1 L keringat (mg)
Natrium	20-80	130-155	460-1840
Kalium	4-8	3,2-5,5	160-320
Kalsium	0-1	2,1-2,9	0-40
Magnesium	<0,2	0,7-1,5	<5
Klorida	20-60	96-110	710-2130

Sumber: Maughan (2000)

2.6 Kandungan Gizi pada Tomat dan Efeknya terhadap Kesehatan

Tomat adalah buah yang gurih, biasanya berwarna merah dan dapat dimakan, yang memiliki nama latin *Solanum lycopersicum* (Dawid 2016). Kandungan gizi pada tomat meliputi mineral, vitamin, protein, asam amino esensial, *monounsaturated fatty acids*, fitosterol dan karotenoid, salah satunya adalah likopen (Ali *et al.* 2020). Kandungan gizi tomat merah segar berdasarkan Tabel Komposisi Pangan Indonesia (2018) adalah sebagai berikut.

Tabel 2 Kandungan gizi tomat per 100 g

Kandungan Gizi	Per 100 g
Energi	24 kkal
Lemak	0,5 g
Karbohidrat	4,7 g
Protein	1,3 g
Natrium	10,00 mg
Kalium	8,00 mg

Sumber: TKPI (2018)

Selain kandungan gizi pada Tabel 1 terdapat likopen, salah satu dari karotenoid, yang memiliki senyawa kimia $C_{40}H_{56}$ yang merupakan hasil sintesis dari asam mevalonit yang mengubahnya menjadi likopen (Costa *et al.* 2013). Likopen yang merupakan antioksidan ini memiliki kontribusi pada kesehatan manusia sebagai agen prodilaksis ataupun terapeutik dalam menghadapi penyakit metabolik (Shafe *et al.* 2024). Kulawik *et al.* (2024) menyatakan likopen adalah salah satu makanan yang bermanfaat dalam meningkatkan kesehatan metabolisme dan mengurangi risiko penyakit kronis terkait. Selain bermanfaat bagi kesehatan masyarakat secara umum, tomat juga berpotensi mendukung performa dan pemulihan atlet melalui kandungan zat gizi dan senyawa bioaktifnya. Likopen yang

terkandung dalam tomat memiliki efek antioksidan (Zhang *et al.* 2017), kekuatan tulang (Kakutani *et al.* 2011), meringankan respons biomarker peroksidasi lipid terhadap latihan yang melelahkan pada atlet (Gholami *et al.* 2021). Atlet sering sekali merasa kelelahan terutama atlet dengan durasi latihan atau perlombaan yang panjang, seperti pelari jarak jauh. Selama atlet terus beraktivitas fisik, permintaan laju konsumsi oksigen menghasilkan produksi spesies oksigen reaktif yang lebih besar (D'Angelo dan Rosa 2020). Likopen yang merupakan senyawa bioaktif secara ilmiah telah ditemukan bahwa dapat berinteraksi langsung dengan ROS, karena likopen menyediakan nutrasetika potensial dengan kemampuan melindungi dan menyembuhkan dari sifat sel yang bersifat sebagai radikal bebas (Bin-Jumah *et al.* 2022).

Bubuk tomat kering yang dianalisis dalam penelitian So *et al.* (2020) memiliki komposisi kimia yang disajikan pada Tabel 3. Analisis ini dilakukan pada sampel bubuk tomat seberat 100 g.

Tabel 3 Komposisi kimia *tomato powder*

Komposisi	Nilai
Bahan kering (%)	8,08
Kadar abu (%)	2,39
Crude fiber (%)	57,33
S(%)	18,08
Ekstrak ether (lemak) (%)	1,94
Likopen (mg/100 g)	113,2

Sumber: So *et al.* (2020)

Gholami *et al.* 2021 menunjukkan bahwa pemberian bubuk tomat (30 mg likopen) lebih efektif dibandingkan dengan tomat segar pada atlet terlatih. Sedangkan 6 mg likopen ditambah dengan *phytone* dan *phytofluene* dapat membantu menaikkan kenaikan myoglobin (kerusakan otot), tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap inflamasi, nyeri otot, atau stress oksidatif (Nieman *et al.* 2018).

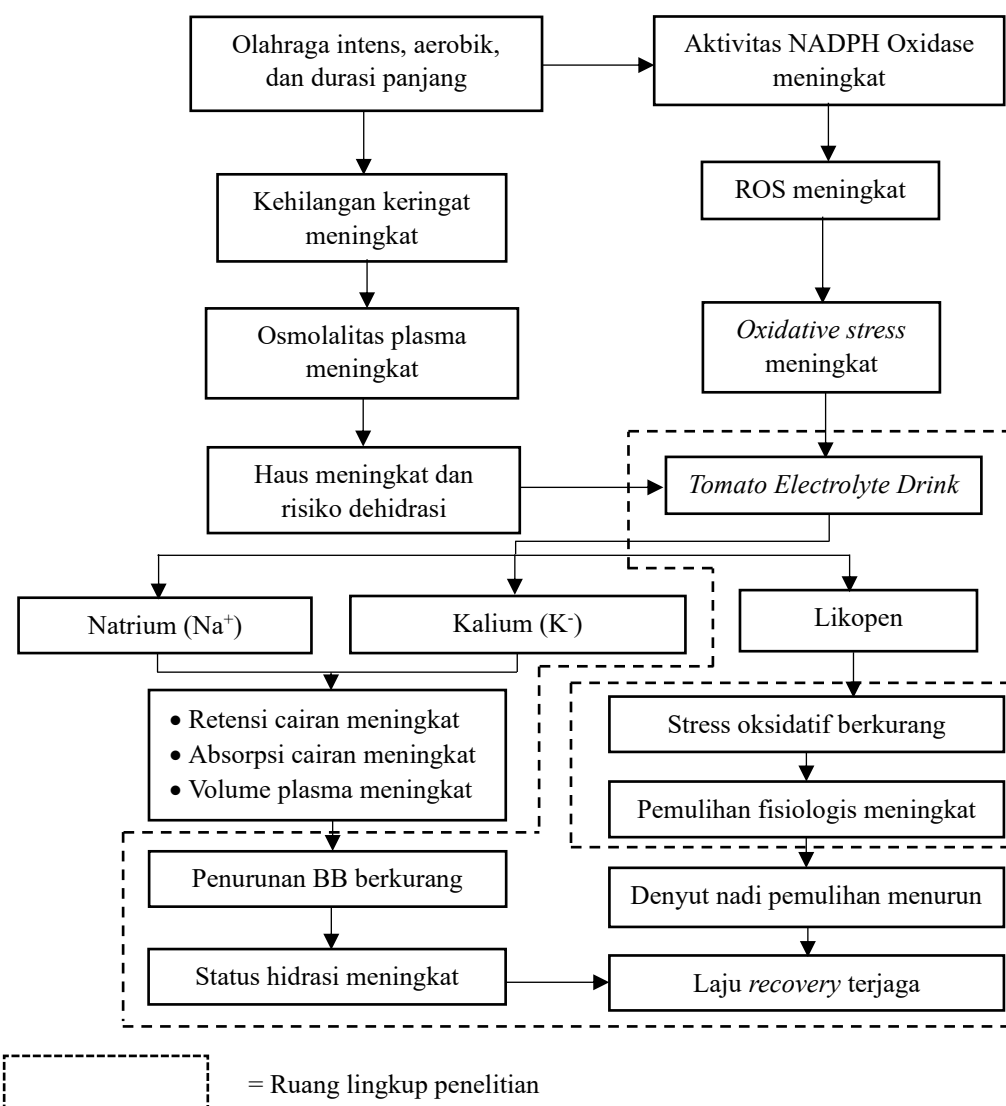
2.7 Kerangka Pemikiran

Atlet jarak jauh adalah atlet yang memiliki kebutuhan cairan lebih banyak dibandingkan atlet jarak menengah ataupun *sprint*. Gambar 1 menjelaskan keterkaitan antara aktivitas olahraga yang bersifat intensif, aerobik, dan berdurasi panjang dengan perubahan fisiologis yang terjadi dalam tubuh. Olahraga dengan intensitas tinggi dan durasi yang berkepanjangan dapat menyebabkan peningkatan kehilangan cairan tubuh melalui keringat. Kehilangan ini akan meningkatkan osmolalitas plasma sehingga merangsang rasa haus dan meningkatkan Risiko terjadinya dehidrasi. Selain dari dehidrasi, olahraga aerobik ini akan meningkatkan aktivitas enzim NADPH oksidase yang berperan dalam peningkatan produksi *reactive oxygen spesies* (ROS). Akumulasi ROS ini akan memicu stress oksidatif yang dapat merusak sel dan jaringan tubuh.

Pemberian *Tomato Electrolyte Drink* diharapkan mampu mengatasi kedua mekanisme tersebut melalui kandungan elektrolit dan antioksidan yang dimiliki. Kandungan natrium (Na^+) dan kalium (K^+) berperan dalam mempertahankan keseimbangan cairan tubuh dengan meningkatkan retensi cairan, meningkatkan absorpsi cairan di usus, serta mempertahankan volume plasma. Mekanisme ini

diharapkan dapat mengurangi penurunan berat badan akibat kehilangan cairan selama olahraga sehingga status hidrasi setelah aktivitas fisik dapat dipertahankan. Selain itu minuman ini juga mengandung likopen yang dapat menjadi antioksidan dalam melawan stress oksidatif yang tidak akan memberatkan proses pemulihan fisiologis pada atlet. Pemulihan akan terlihat pada indikator denyut nadi pemulihan yang dilihat setelah pemberian minuman, sehingga *recovery* tetap dapat terjaga (*recovery rate*).

Dengan demikian, pemberian *Tomato Electrolyte Drink* diharapkan memberikan manfaat ganda, yaitu mempertahankan status hidrasi melalui peran natrium dan kalium dalam keseimbangan cairan serta meningkatkan pemulihan fisiologis melalui aktivitas antioksidan likopen yang menurunkan stress oksidatif setelah olahraga intensitas tinggi dan berdurasi panjang.



Gambar 1 Kerangka pemikiran penelitian

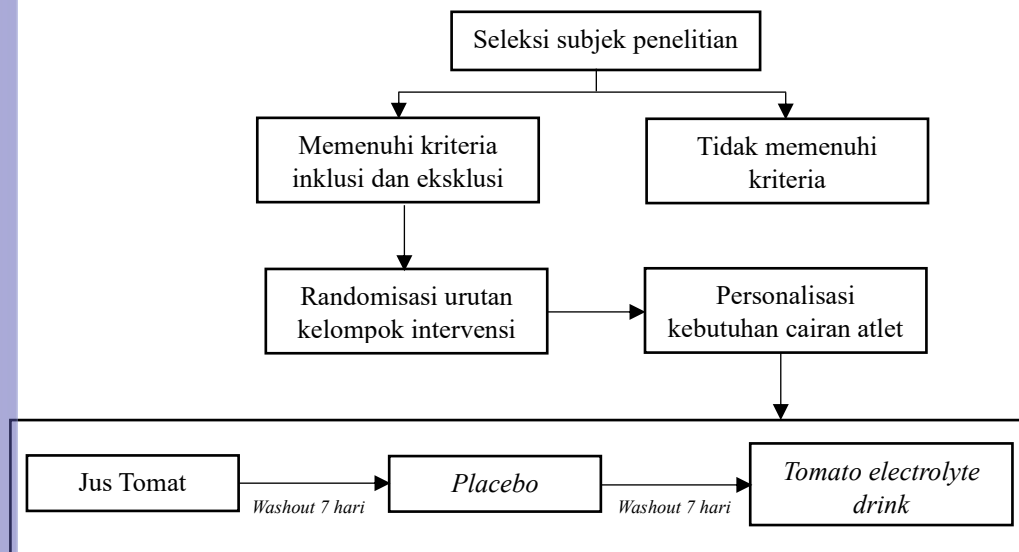
III METODE

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan, yaitu pada bulan Oktober 2025 hingga Februari 2026. Lokasi penelitian mencakup Lapangan Atletik Gedung Olahraga Universitas Negeri Medan yang digunakan untuk pengambilan data fisik seperti pengukuran antropometri, kebugaran jasmani, serta observasi aktivitas fisik peserta. Selain itu, Laboratorium Percobaan IPB University juga digunakan dalam pembuatan *Tomato Powder*, yang dilakukan uji organoleptik di Laboratorium Organoleptik IPB University.

3.2 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *within-subjects* dengan *repeated measures*, di mana peserta yang memenuhi kriteria inklusi menjalani tiga sesi pengujian yang dilaksanakan dengan jeda waktu 7 hari antar sesi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan yang terjadi pada setiap subjek penelitian setelah mengonsumsi minuman tersebut dalam periode waktu yang telah ditentukan, serta untuk mengidentifikasi apakah terdapat pengaruh signifikan terhadap parameter-parameter yang diamati, seperti hidrasi tubuh dan kinerja fisik.



Gambar 2 Desain penelitian *within - subjects* dengan *repeated measures*
Di modifikasi dari Robayo *et al.* (2024) *Nutrition* 16(242): 1-14.
Modifikasi pada kelompok perlakuan dan jeda *washout*; de Lima
Tavares Toscano *et al.* (2020) *European Journal of Nutrition*.
59(7):2997-3007. Modifikasi dengan jeda *washout* yang sama.

Berdasarkan desain penelitian tersebut, dapat ditetapkan kriteria inklusi yang sesuai dengan tujuan penelitian. Selain itu, kriteria eksklusi juga ditentukan untuk memastikan validitas dan keterfokusan penelitian.

Kriteria inklusi

- 1) Berusia 18-35 tahun.

- 2) Pelari jarak jauh yang terdaftar dibawah *Physical Center* Provinsi Sumatera Utara.
- 3) Berlatih di Lapangan Atletik Gedung Olahraga Universitas Negeri Medan.
- 4) Bersedia mengikuti seluruh tahapan penelitian dan menandatangani *informed consent*.
- 5) Tidak sedang dalam program diet atau konsumsi suplemen khusus selama penelitian.

Kriteria eksklusi

- 1) Memiliki riwayat penyakit kronis atau metabolik.
- 2) Mengalami cedera musculoskeletal yang membatasi aktivitas fisik.
- 3) Mengalami intoleransi atau alergi terhadap tomat atau bahan-bahan tambahan dalam *Tomato Electrolyte Drink*.
- 4) Mengonsumsi obat-obatan atau suplemen.
- 5) Tidak menyelesaikan salah satu tahapan intervensi dengan tidak hadir pada saat sesi pengukuran.

3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan utama untuk pembuatan *Tomato Electrolyte Drink*, yaitu tomat segar (*Solanum lycopersicum*), natrium klorida (NaCl), kalium klorida (KCl), glukosa murni, dan air matang steril. Bubuk tomat yang digunakan dalam berat 30 g. Natrium klorida dan kalium klorida ditambahkan secara konsisten sebesar masing-masing 20 mmol/L dan 150 mg, berfungsi sebagai elektrolit penting dalam menjaga keseimbangan cairan tubuh. Sirup glukosa sebesar 75 g/L juga ditambahkan untuk memberikan energi cepat pasca-latihan guna mendukung proses pemulihan.

Pembuatan minuman dilakukan menggunakan blender untuk mengekstrak sari tomat, dilanjutkan dengan penyaringan menggunakan saringan halus. Seluruh bahan ditimbang menggunakan timbangan digital analitik untuk memastikan akurasi komposisi, Minuman yang telah disiapkan disimpan dalam botol kaca atau wadah plastik *food-grade* hingga diberikan kepada subjek penelitian.

Untuk mengukur status hidrasi, digunakan alat pengukur berat badan digital dan stadiometer guna mencatat berat dan tinggi badan sebelum dan sesudah perlakuan. Komposisi tubuh peserta, termasuk persentase air tubuh, massa otot, dan lemak tubuh, diukur menggunakan alat *Bioelectrical Impedance Analysis* (BIA). Aspek pemulihan performa dievaluasi melalui tes kebugaran, seperti *bleep test* atau *submaximal VO₂ max test*, yang dilakukan sebelum dan sesudah intervensi. Denyut nadi diukur menggunakan alat *pulsometer (heart rate monitor)*. Seluruh pengukuran dilakukan secara sistematis untuk menjamin reliabilitas data yang dikumpulkan.

3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Penentuan formula *tomato electrolyte drink*

Tahap penentuan formula *tomato electrolyte drink* merujuk pada Peraturan yang dikeluarkan oleh Badan Pengawasan Obat dan Makanan (BPOM) No 24 Tahun 2019 tentang Pengawasan Pangan Olahan untuk Keperluan Gizi Khusus dan Peraturan BPOM No 13 Tahun 2023 tentang Kategori Pangan. Berdasarkan

perujukan ini maka produk yang dikembangkan termasuk pada kategori pangan olahragawan dengan spesifikasi minuman olahraga. Minuman olahraga dalam bentuk cair/larutan siap konsumsi atau bubuk yang harus direkonstitusi dengan air menjadi bentuk larutan yang siap konsumsi. Minuman ini diperuntukan untuk orang yang melakukan olahraga *endurance* dengan mempertimbangkan kandungan cairan, elektrolit, dan energi untuk secara cepat menggantikan cairan tubuh, elektrolit dan memulihkan tenaga pada olahraga *endurance*. Persyaratan mutu kandungan gizi yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Energi tidak kurang dari 240 kkal/L. Sumber energi berasal dari karbohidrat yaitu glukosa, sukrosa, matodekstrin, dan fruktosa.
2. Kandungan natrium tidak kurang dari 230 mg/L atau 10 mmol/L dan tidak lebih dari 575 mg/L.
3. Kandungan kalium tidak lebih dari 200 mg/L.

Dengan demikian, diperoleh formula minuman elektrolit dengan penambahan *tomato powder*. Formula tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Formula *tomato electrolyte drink*

Komponen formula	Jumlah
<i>Tomato powder</i> (g)	30*
Natrium klorida (mmol/L)	20
Sirup glukosa (g/L)	75
Kalium klorida (mg/L)	150

*berat gramisasi disesuaikan dengan hasil uji tes likopen pada bubuk tomat

Penambahan natrium pada *Tomato Electrolyte Drink* mengacu pada ketentuan di Tabel 4, yaitu 20 mmol/L. Oleh karena itu, natrium dalam natrium klorida (NaCl) dihitung berdasarkan berat molekul NaCl.

Berat molekul (BM) NaCl adalah:

1. Na = 22,99 g/mol
2. Cl = 35,45 g/mol

Sehingga:

$$BM NaCl = 22,99 + 35,45 = 58,44 \text{ g/mol}$$

Kebutuhan NaCl untuk menghasilkan konsentrasi natrium sebesar 20 mmol/L dihitung dengan persamaan:

$$NaCl \left(\frac{g}{L} \right) = \frac{Konsentrasi \left(\frac{mmol}{L} \right) \times BM NaCl \left(\frac{g}{mol} \right)}{1000}$$

$$= \frac{20 \times 58,44}{1000}$$

$$= 1,1688 \text{ g/L}$$

Dengan demikian, kebutuhan NaCl untuk setiap volume minuman dihitung menggunakan rumus:

$$NaCl (g) = 1,1688 \times \frac{Volume minuman (mL)}{1000}$$

3.4.2 Pemilihan tomat

Tomat memiliki varietas yang merupakan dampak dari perkembangan teknologi, yang biasa disebut dengan pemuliaan tanaman (Wahyurni dan

Suryawati 2021). Maka dapat diperoleh ciri-ciri tomat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Varietas tomat SERVO F1 (Gambar 3).
2. Keras dan bulat.
3. Buah bulat, berpundak hijau dengan bobot 80 g/buah.
4. Keras dan toleran busuk ujung buah (BER).
5. Umur mulai panen 62-65 HST (Wahyurni dan Suryawati 2021).



Gambar 3 Tomat varietas Servo F1

3.4.3 Formulasi Minuman Perlakuan

Formulasi minuman perlakuan dilakukan sebagai tahap awal pengembangan produk yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada kebutuhan cairan dan elektrolit pelari jarak jauh, sehingga perlakuan dapat memberikan dukungan dalam pemeliharaan status hidrasai dan proses pemulihan performa. Pada penelitian ini digunakan tiga jenis minuma yaitu air mineral sebagai placebo, jus tomat, dan *Tomato Electrolyte Drink* sebagai minuman perlakuan sebagaimana yang disajikan pada Tabel 5.

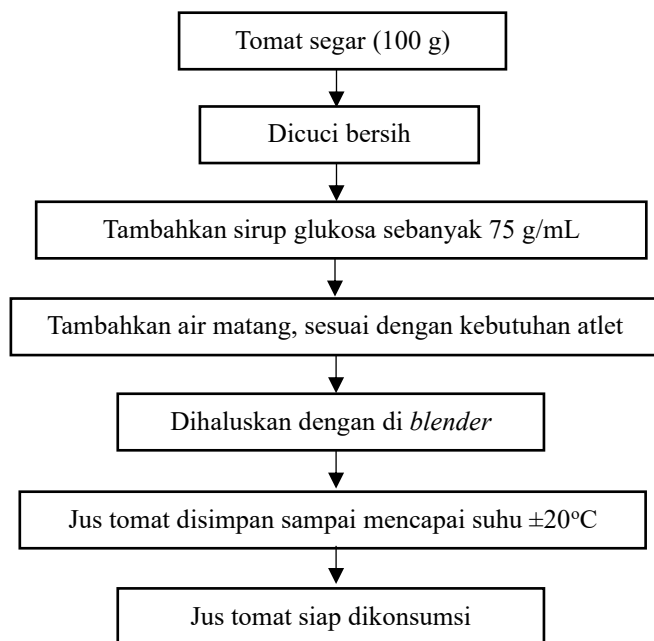
Tabel 5 Formulasi minuman intervensi pada setiap kelompok perlakuan

Jenis Minuman	Tomat segar (g)	Bubuk tomat (g)	Sirup glukosa (75 g/l)	Natrium klorida (NaCl) (20 mmol/L)	Kalium klorida (KCl) (mg)
Jus tomat	100	0	Disesuaikan*	0	0
Air mineral (Placebo)	0	0	0	0	0
<i>Tomato Electrolyte Drink</i>	0	30	Disesuaikan*	Disesuaikan*	150

*Penyesuaian sirup glukosa dan natrium klorida dilakukan dengan kebutuhan cairan masing-masing individu.

3.4.4 Pembuatan Jus Tomat

Jus tomat diolah untuk menjadi salah satu pembuatan untuk 1 kelompok perlakuan pada atlet jarak jauh. Berdasarkan hal tersebut maka proses pembuatan jus tomat dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pembuatan jus tomat

3.4.5 Pembuatan Placebo

Placebo diberikan kepada masing-masing atlet sebagai salah satu perlakuan. Proses pembuatan perlakuan ini menggunakan air mineral yang telah disamakan pada air yang digunakan untuk jus tomat dan *tomato electrolyte drink*. *Placebo* disimpan pada suhu $\pm 20^{\circ}\text{C}$ lalu dapat diberikan kepada atlet.

3.4.6 Pembuatan *Tomato Electrolyte Drink*

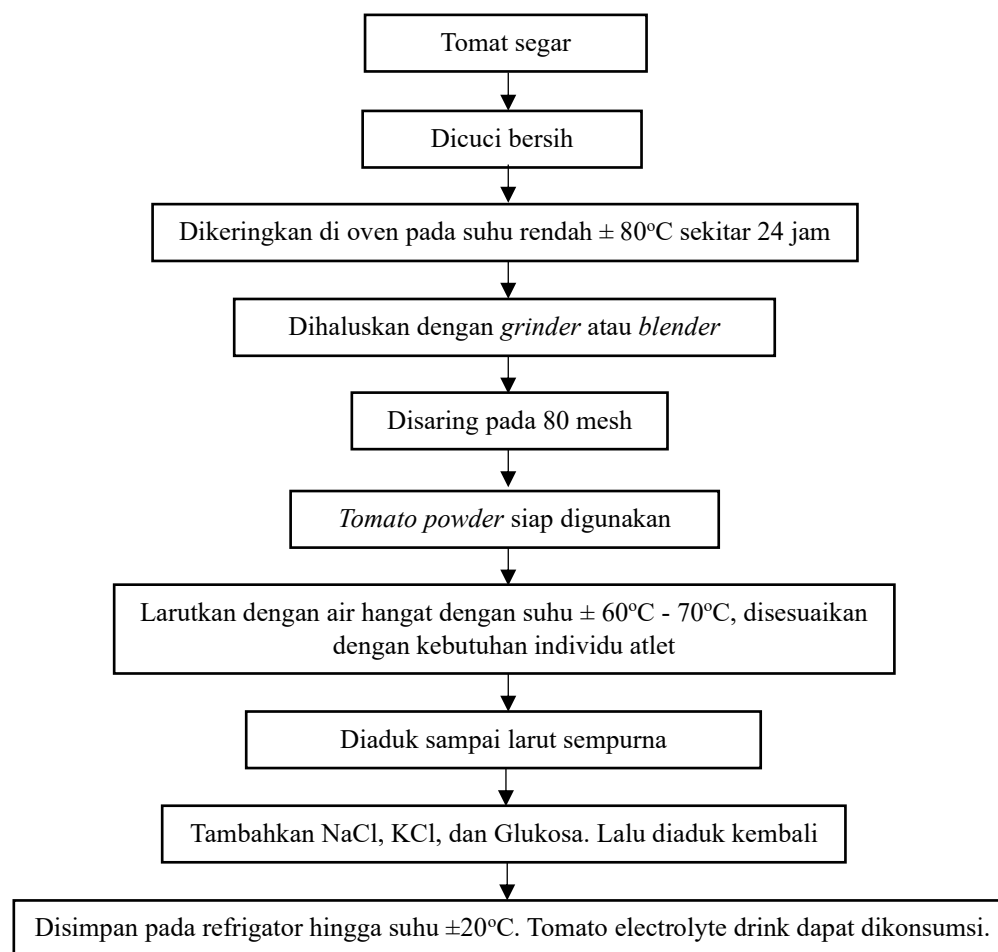
Diagram alir dari pembuatan *tomato electrolyte drink* yang terbagi menjadi dua tahap utama dapat dilihat pada Gambar 5. Tahap tersebut meliputi pembuatan *tomato powder* dan pembuatan *electrolyte drink*.

3.4.7 Uji Likopen

Analisis kadar likopen dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometri. Sampel bubuk tomat ditimbang sebanyak ± 1 g, kemudian dilakukan ekstraksi menggunakan pelarut organik hingga diperoleh volume ekstrak sebanyak 25 mL. Selanjutnya absorbansi ekstrak diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 503 nm. Kadar likopen dihitung berdasarkan koefisien ekstensi spesifik likopen ($E^{1\%1\text{cm}} = 3450$) menggunakan persamaan:

$$\text{Likopen (mg/100 g)} = \frac{A \times V \times 100}{3450 \times W}$$

dengan A adalah nilai absorbansi, V adalah volume ekstrak (mL), dan W adalah berat sampel (g). Analisis dilakukan sebanyak dua kali ulangan (duplo), kemudia hasil dinyatakan sebagai nilai rata-rata mg/100 g.



Gambar 5 Prosedur pembuatan *Tomato Electrolyte Drink* (di modifikasi dari So *et al.* (2020) Songklanakarin Journal of Science & Technology. 42(1):27-34). Modifikasi dilakukan pada tahapan setelah pembuatan bubuk tomat, yaitu proses pelarutan bubuk tomat dengan air, penambahan bahan formulasi, hingga proses akhir pembuatan minuman.

3.4.8 Uji Organoleptik

Uji organoleptik dilakukan untuk mengidentifikasi, mengukur secara ilmiah, dan menganalisis atribut terhadap suatu produk menggunakan panca indera (Setyaningsih *et al.* 2010). Berdasarkan SNI 01-2346-2006 tentang Petunjuk Pengujian Organoleptik dan atau Sensori, jumlah minimal dalam satu kali pengujian untuk panelis non standar adalah 30 orang (BSN 2006). Uji organoleptik terdiri dari uji hedonik dan uji mutu hedonik yang diujikan kepada 35 orang panelis dengan 1 formula yang akan dibandingkan dengan nilai pembanding yaitu nilai netral (5).

Uji hedonik bertujuan untuk mengetahui tingkat kesukaan atau ketidaksukaan panelis terhadap produk. Parameter yang diuji dalam uji hedonik antara lain warna, aroma, tekstur, rasa, *aftertaste*, dan keseluruhan. Skala yang digunakan adalah skala (satu) sebagai nilai terendah hingga 9 (sembilan) sebagai nilai tertinggi. Skala yang digunakan antara lain amat sangat tidak suka (1), sangat tidak suka (2), tidak suka (3), agak tidak suka (4), netral (5), agak suka (6), suka (7), sangat suka (8), dan amat sangat suka (9). Uji mutu hedonik

menjadi uji lanjutan dari uji hedonik yang yang ditujukan untuk menilai satu jenis mutu tertentu. Atribut mutu hedonik yang digunakan pada penelitian ini yaitu warna, distribusi warna, aroma tomat (kesegaran), *mouthfeel grittiness* (tekstur berpasir), rasa manis, asam dan pahit. Pada mutu hedonik, penilaian dilakukan dengan tingkat penilaian parameter yang digunakan dari intensitas skala terendah yaitu 1 hingga tertinggi yaitu 9. Kuesioner uji organoleptik disajikan pada Lampiran 8.

3.4.9 Pengukuran Kebutuhan Cairan Individu

Kebutuhan masing-masing individu berbeda yang bergantung terhadap metabolisme dan aktivitas yang dilakukan. Maka dari itu dibutuhkan personalisasi kebutuhan terhadap cairan.

Sweat rate: $((\text{BB sebelum latihan (kg)} - \text{BB sesudah latihan (kg)}) - (\text{volume urin (L)} + \text{konsumsi cairan selama latihan}))/ \text{durasi latihan}$

Sumber: Godek *et al.* 2010

Berdasarkan hal tersebut maka dapat dibuat langkah-langkah pengukuran cairan individu para atlet sebagai berikut.

1. Timbang berat badan sebelum latihan (dengan pakaian minim dan dalam kondisi kering).
2. Catat jumlah cairan yang dikonsumsi selama latihan.
3. Selama latihan, tampung urin yang dikeluarkan (jika ada).
4. Durasi latihan dicatat berdasarkan berapa lama individu latihan.
5. Setelah latihan:
 - a. Keringkan tubuh dari keringat
 - b. Timbang berat badan lagi
 - c. Catat volume urin yang keluar

3.4.10 Intervensi Pemberian *Tomato Electrolyte Drink*

Berdasarkan desain penelitian yang telah dipaparkan maka dapat diperoleh tata cara pelaksanaan pemberian *tomato electrolyte drink*. Prosedur ini dilakukan sesuai tahapan yang telah ditetapkan agar hasil penelitian lebih terukur dan konsisten.

- 1) Lakukan personalisasi kebutuhan cairan pada hari yang sama pada saat pemberian perlakuan dilakukan. Volume cairan didasarkan pada personalisasi kebutuhan yang disesuaikan dengan rumus kebutuhan cairan Godek *et al.* 2010.
- 2) Lakukan pengacakan pada intervensi dengan metode *random sampling* melalui *picker wheel* yang diacak pemberian intervensi antara 3 perlakuan.
 - a. Minggu 1: Jus tomat
 - b. Minggu 2: Placebo (air mineral yang sering dikonsumsi)
 - c. Minggu 3: *Tomato electrolyte drink*
- 3) Periode Intervensi Tahap Pertama
 Penelitian dilakukan pada pagi hari dimulai pukul 07.00 - selesai. Subjek menjalani latihan dengan *bleep test* diukur hasil $\text{VO}_{2\text{max}}$. Setelah sesi latihan, subjek langsung mengonsumsi minuman sesuai

kelompoknya dengan waktu minum sebanyak 0-30 menit (harus dihabiskan). Pengukuran dilakukan setelah intervensi, mencakup:

- a. Status Hidrasi: berat badan sebelum dan sesudah latihan.
- b. *Performance Recovery*: tes performa lari ulang (*bleep test*).

4) Masa *Washout* 1

Setelah periode intervensi minggu pertama, subjek menjalani masa *washout* selama 7 hari untuk memastikan tidak ada efek sisa dari perlakuan sebelumnya. Subjek diminta untuk menjaga pola makan dan aktivitas harian yang konsisten selama masa *washout* dengan tidak mengonsumsi makanan yang mengandung tinggi likopen yaitu tomat dan produknya, jambu biji merah, semangka, dan anggur.

5) Periode Intervensi Tahap Kedua

Prosedur diulang kembali dengan jenis minuman yang berbeda dari periode pertama (*placebo*).

Subjek melakukan aktivitas fisik yang sama dan mengonsumsi minuman sesuai urutan yang telah diacak.

Pengukuran ulang dilakukan dengan indikator dan instrumen yang sama seperti pada periode pertama.

6) Masa *Washout* 2

Setelah periode intervensi minggu kedua, subjek menjalani masa *washout* selama 7 hari untuk memastikan tidak ada efek sisa dari perlakuan sebelumnya. Subjek diminta untuk menjaga pola makan dan aktivitas harian yang konsisten selama masa *washout* dengan tidak mengonsumsi makanan yang mengandung tinggi likopen yaitu tomat dan produknya, jambu biji merah, semangka, dan anggur.

7) Periode Intervensi Tahap Ketiga

Prosedur diulang kembali dengan jenis minuman yang berbeda dari periode pertama dan kedua (*Tomato Electrolyte Drink*).

Subjek melakukan aktivitas fisik yang sama dan mengonsumsi minuman sesuai urutan yang telah diacak.

Pengukuran ulang dilakukan dengan indikator dan instrumen yang sama seperti pada periode pertama.

3.4.11 Uji *Recovery Performance*

Atlet *Physical Center* Sumatera Utara, berpartisipasi dalam 3 hari *testing* (3 kelompok intervensi). Pemulihan performa dalam penelitian ini dievaluasi dengan menggabungkan dua pendekatan utama, yaitu pemantauan detak jantung selama fase pemulihan (*heart rate recovery*, HRR) dan pengukuran performa anaerobik melalui *bleep test*. *Heart rate recovery* merupakan parameter fisiologis yang mencerminkan respons sistem saraf otonom pasca-latihan, terutama aktivasi kembali sistem parasimpatis. Dalam konteks olahraga ketahanan, HRR yang lebih cepat mengindikasikan pemulihan kardiovaskular yang lebih baik dan kapasitas aerobik yang optimal. Pengukuran dilakukan dengan mencatat denyut jantung maksimal tepat setelah latihan, lalu diikuti pencatatan pada menit ke-1 dan ke-3 setelah istirahat pasif. Penurunan detak jantung ≥ 12 bpm dalam satu menit dianggap sebagai indikator pemulihan yang baik (Porto *et al.* 2023). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa hidrasi yang adekuat mempercepat pemulihan denyut jantung melalui peningkatan aktivitas

parasimpatis (Brito *et al.* 2014). Oleh karena itu, efektivitas pemberian *tomato electrolyte drink* dianalisis berdasarkan kecepatan penurunan HR pada waktu tersebut.

Selain itu, performa anaerobik dinilai melalui pengujian *bleep test* yang dilakukan sebelum dan 30–60 menit setelah konsumsi *tomato electrolyte drink*. Pengujian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas otot dalam menghasilkan tenaga eksplosif, yang merupakan aspek penting dari pemulihan neuromuskular setelah latihan intensitas tinggi. Penurunan performa pada uji anaerobik pasca-aktivitas umumnya disebabkan oleh kelelahan otot dan ketidakseimbangan elektrolit yang mengganggu kontraksi otot (Lanhers *et al.* 2020). Minuman rehidrasi yang mengandung natrium, kalium, dan karbohidrat kompleks seperti yang terdapat dalam tomat, diyakini mampu mempercepat pemulihan fungsi otot melalui perbaikan keseimbangan cairan dan metabolisme energi.

Dengan demikian, kombinasi antara pemantauan HRR dan performa anaerobik ini memberikan indikator yang komprehensif dan relevan untuk menilai efektivitas pemulihan performa atlet pelari jarak jauh setelah intervensi gizi. Berdasarkan hal tersebut maka dapat diperoleh tata cara pengambilan data untuk *recovery performance*.

1. Subjek melakukan *bleep test* dengan berlari bolak-balik menempuh jarak 20 meter (b.b). Subjek memulai lari dengan kecepatan rendah yang kemudian meningkat secara bertahap hingga subjek tidak mampu mengikuti irama bunyi peluit. Kemampuan maksimal subjek ditentukan berdasarkan level dan jumlah balikan terakhir yang berhasil dicapai.
2. Setiap level berlangsung selama 1 (satu) menit.
3. Pada level 1 jarak 20meter ditempuh dalam waktu 8,6 detik dalam 7 kali b.b., sedangkan pada level 2 dan 3 jarak 20 meter ditempuh dalam waktu 7,5 detik dalam 8 kali b.b dan seterusnya.
4. Bunyi peluit diberikan satu kali sebagai penanda waktu tempuh setiap lintasan 20 meter, sedangkan dua kali bunyi peluit diberikan sebagai penanda berakhirnya setiap level.
5. Subjek berdiri di belakang garis *start*, subjek berdiri dengan kedua kaki dibelakang garis *start/batas*. Pada saat aba-aba “Siaap-Yak” subjek lari sesuai dengan irama waktu menuju ke garis batas sehingga 1 kaki melewati garis batas.
6. Subjek menunggu bunyi peluit sebelum berbalik arah apabila telah mencapai garis batas lebih awal. Sebaliknya apabila telah ada bunyi peluit dan subjek belum sampai pada garis batas, maka subjek harus mempercepat lari sampai melewati garis batas dan segera berlari ke arah sebaliknya.
7. Kemampuan maksimal subjek dinyatakan tercapai apabila subjek tidak mampu mengikuti irama bunyi peluit sebanyak dua kali berturut-turut. Nilai kemampuan maksimal dicatat berdasarkan level dan jumlah balikan terakhir yang berhasil diselesaikan.
8. Hasil tes dicatat dalam bentuk level dan jumlah balikan terakhir yang dicapai. Sebagai contoh, apabila subjek berhenti pada level 10 balikan ke-8, maka hasil dicatat sebagai 10.8. Interpretasi hasil dapat dilihat pada Lampiran 7.

9. Subjek melakukan *cooling down* dengan berlari atau berjalan secara perlahan selama 3–5 menit setelah tidak mampu melanjutkan tes. Subjek tidak diperkenankan berhenti secara tiba-tiba.
10. Peneliti mengukur *heart rate recovery* (HRR) subjek menggunakan pulsometer segera setelah tes selesai (menit ke-0), kemudian pada menit ke-1 dan menit ke-3 setelah berlari.

3.4.12 Uji Status Hidrasi

Status hidrasi dalam penelitian ini dievaluasi melalui beberapa metode non-invasif yang saling melengkapi untuk memberikan gambaran komprehensif terhadap perubahan cairan tubuh selama dan setelah aktivitas fisik. Metode utama yang digunakan adalah perubahan berat badan (*body mass change*), yang telah terbukti valid dan praktis dalam mendeteksi kehilangan cairan tubuh akut akibat keringat. Pengukuran dilakukan dengan menimbang berat badan peserta secara konsisten sebelum dan sesudah sesi latihan atau lomba lari, menggunakan timbangan digital dengan akurasi minimal 0,1 kg. Penurunan berat badan $\geq 2\%$ dari berat awal umumnya dianggap sebagai indikator dehidrasi signifikan dan telah dikaitkan dengan penurunan performa fisik serta gangguan fungsi termoregulasi tubuh (Barley *et al.* 2010). Metode ini dipilih karena sensitivitasnya yang tinggi, mudah dilakukan di lapangan, dan tidak memerlukan pengambilan sampel biologis seperti urin atau darah. Pengukuran berat badan dilakukan secara berulang, yaitu sebelum dan sesudah aktivitas fisik, serta sebelum dan sesudah intervensi pemberian tomato electrolyte drink, guna menilai pengaruhnya terhadap status hidrasi.

Metode lainnya juga digunakan pada penelitian yaitu menggunakan *Bioelectrical Impedance Analysis* (BIA) untuk mengevaluasi *total body water* (TBW) dan distribusi cairan tubuh. BIA merupakan teknik non-invasif yang mengukur resistansi dan reaktansi tubuh terhadap arus listrik rendah untuk memperkirakan komposisi tubuh, termasuk massa otot, massa lemak, dan cairan intraseluler maupun ekstraseluler. Pengukuran dilakukan menggunakan alat BIA multifrekuensi dengan standar protokol: peserta berada dalam kondisi puasa minimal 4 jam, tidak melakukan aktivitas fisik selama 12 jam sebelumnya, serta dalam posisi berdiri tegak dan rileks saat pengukuran. BIA telah terbukti sebagai metode yang akurat untuk mendeteksi perubahan status hidrasi, terutama bila variabel eksternal seperti konsumsi makanan, suhu kulit, dan waktu pengukuran dikendalikan secara ketat (Lukaski dan Piccoli 2012). Penggunaan BIA dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan data objektif yang mendukung hasil dari pengukuran berat badan, terutama dalam mengevaluasi efektivitas rehidrasi pasca-pemberian *tomato electrolyte drink*.

3.5 Analisis Data

Analisis data untuk penelitian ini adalah uji normalitas terlebih dahulu untuk melihat apakah sebaran data normal atau tidak menggunakan uji Shapiro-Wilk. Data diuji dengan uji analisis *Wilcoxon rank*. Lalu data juga dilakukan uji *repeated measures* ANOVA untuk mengetahui adanya perbedaan yang signifikan antara ketiga perlakuan yaitu jus tomat, placebo, dan *tomato electrolyte drink*. Apabila

ditemukan perbedaan yang signifikan maka dilakukan uji lanjut yaitu uji *post-hoc* untuk mengetahui secara spesifik perlakuan mana yang berbeda secara signifikan.

3.6 Pertimbangan Etik

Pertimbangan etik dalam penelitian ini diajukan kepada Komisi Etik yang Melibatkan Subjek Manusia. Hal ini dilakukan dalam rangka memperoleh persetujuan etik penelitian sebelum pelaksanaan kegiatan dilakukan. Persetujuan etik untuk penelitian ini diperoleh dari Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Airlangga dengan nomor persetujuan 11150/HREC.FDOM/XI/2025. Semua partisipan menandatangani formulir *informed consent* sebelum menjadi subjek penelitian. Partisipasi dalam penelitian ini adalah bersifat sukarela, anonim, dan beserta tidak adanya kompensasi materil yang disediakan.

3.7 Definisi Operasional

Atlet adalah olahragawan profesional.

Denyut nadi adalah indikator yang digunakan dalam melihat proses *performance recovery* pada subjek penelitian, yang mana hal ini dilihat dari seberapa cepat penurunan denyut nadi hingga mencapai denyut nadi istirahat.

Electrolyte adalah senyawa yang digunakan dalam formula yang menggunakan sodium klorida dan kalium klorida.

Olahragawan profesional adalah olahragawan yang melaksanakan kegiatan olahraga sebagai profesi sesuai dengan keahliannya yang mendapatkan pembinaan dan pengembangan dari induk organisasi cabang olahraga, organisasi olahraga profesional atau organisasi olahraga fungsional, yang dalam hal ini adalah Physical Center Sumatera Utara.

Pelari jarak jauh adalah salah satu nomor perlombaan yang memiliki lintasan yang lebih jauh yaitu mulai dari 5000meter hingga marathon (>42,195km)

Recovery performance adalah performa yang diukur dengan menggunakan indikator nilai VO_2max dengan test bleep dengan membandingkan sebelum dan sesudah pemberian kelompok intervensi.

Sirup glukosa adalah sirup kental yang terbuat dari hidrolisis pati dengan merk Glucose Syrup Brix 85.

Status hidrasi adalah pengukuran yang dilakukan dengan menimbang berat badan peserta secara konsisten sebelum dan sesudah sesi latihan atau lomba lari, menggunakan timbangan digital dengan akurasi minimal 0,1 kg.

Tomat adalah salah satu bahan pangan dengan ketentuan yaitu bervariasi SERVOP F1, keras dan bulat, buah bulat dan berpundak hijau dengan bobot 80 g/buah, keras dan toleran busuk ujung buah (BER), dan umur mulai panen 62-65.

Tomato Electrolyte Drink adalah minuman hasil dari formulasi tomat bubuk, sirup glukosa, natrium klorida dan kalium klorida yang dilarutkan dalam air hangat dan disajikan pada suhu 23°C.

VO_2max adalah nilai volume maksimal oksigen yang dicapai oleh tubuh selama latihan intensi dan berfungsi sebagai indikator utama kebugaran kardiorespirasi yang diukur baik sebelum dan sesudah pemberian intervensi.

Washout period adalah jangka waktu yang ditentukan selama uji klinis subjek yaitu selama 7 hari dari pemberian antara kelompok intervensi.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik *Tomato Electrolyte Drink*

4.1.1 Analisis Kandungan Likopen Bubuk Tomat

Kandungan likopen dianalisis pada bubuk tomat yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui kandungan likopen yang menjadi senyawa utama dalam tomat yang berhubungan dengan variabel terkait. Pengukuran senyawa ini dilakukan dengan metode spektrofotometri yang dilakukan oleh jasa uji di *Biotech Center* IPB University. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kadar likopen yang terdapat pada jenis tomat yang digunakan pada penelitian ini yaitu tomat dengan varietas Servo F1. Tomat varietas ini merupakan tomat sayur yang beradaptasi dengan baik di dataran rendah (Sulistyowati *et al.* 2021). Penggunaan tomat jenis ini telah banyak digunakan oleh petani karena produksinya yang tinggi dan dapat menghindari beberapa tanaman penyakit rentan dari virus seperti Geminivirus (Sulistyowati *et al.* 2021). Bubuk tomat pada varietas tomat lainnya masih belum diketahui mengenai kandungan likopen dalamnya. Sehingga memerlukan penelitian lebih lanjut mengenai tomat-tomat lainnya yang beredar di Indonesia.

Tabel 6 Rata-rata kadar likopen bubuk tomat

Parameter	Bubuk tomat (mg/100 g)
Duplo 1	1,3682
Duplo 2	1,3753
Rata-rata	1,3718

Uji likopen dilakukan dengan dua kali ulangan dengan rata-rata sebesar 1,3718 mg/100 g. Pada variasi tomat lainnya yang ditemukan pada varietas Himsona menunjukkan bahwa kadar likopen pada bubuk tomat yang dikeringkan pada suhu 60°C adalah 1,41 mg/100 g (Srivastava & Kulshreshtha 2013). Penurunan jumlah likopen pada tomat yang diberikan pemanasan dapat terjadi (Ustundas *et al.* 2018). Pemanasan yang dilakukan pada tomat hingga menjadi bubuk dapat membantu penyerapan likopen yang lebih baik. Hal ini dikarenakan tomat yang diberikan pemanasan mengubah likopen all-trans menjadi berbagai isomer cis (Ross *et al.* 2011) yang dapat mempermudah penyerapan dalam darah, plasma dan jaringan. Isomer cis likopen lebih tinggi tingkat bioavailabilitas dan bioaktif dibandingkan dengan isomer all-trans, disebabkan isomer cis lebih mudah diserap karena panjang isomer yang lebih pendek, kelarutan yang lebih besar dalam misel campuran, dan/atau sebagai akibat dari kecenderungan isomer cis yang lebih rendah beragregasi (Boileau *et al.* 2002; Honest *et al.* 2011).

Konsumsi rata-rata likopen di Indonesia saat ini belum diketahui. Asupan likopen diberbagai negara memiliki variasi, seperti di negara-negara Eropa dengan rentang 0,5 – 5 mg/hari, Spanyol >1,64 mg/hari, Perancis dan Inggris 4,43 – 5,01 mg/hari, dan Amerika Serikat >7 mg/hari (Imran *et al.* 2020). Sedangkan pengaturan dosis likopen belum didasarkan pada regulasi secara universal melainkan hanya berdasarkan studi epidemiologi dan penelitian yang

telah dilakukan. Maka pemberian diberikan dengan penambahan 30 g/subjek dalam melihat kemampuan bubuk tomat pada atlet dalam masa *performance recovery* dan status hidrasi.

Pemberian 30 g bubuk tomat dalam formulasi Tomato Electrolyte Drink menghasilkan kandungan likopen sebesar 0,41 mg per sajian. Kandungan likopen tersebut relatif lebih rendah dibandingkan dosis yang umum digunakan dalam penelitian intervensi, yaitu sekitar 5–30 mg/hari. Meskipun demikian, penggunaan bubuk tomat dalam penelitian ini tidak hanya bertujuan sebagai sumber likopen, tetapi juga sebagai sumber berbagai senyawa bioaktif lain, seperti β -karoten, vitamin C, polifenol, dan flavonoid yang berpotensi bekerja secara sinergis dalam memberikan efek antioksidan.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa likopen pada kondisi tertentu dapat beralih dari sifat antioksidan menjadi prooksidan. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti konsentrasi likopen, tekanan oksigen jaringan, serta interaksinya dengan antioksidan lain, sehingga berpotensi meningkatkan pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) dan memperburuk stres oksidatif (Shafe *et al.* 2024; Ribeiro *et al.* 2018). Selain itu, Gholami *et al.* (2021) melaporkan bahwa pemberian 30 mg likopen murni tidak memberikan penurunan biomarker peroksidasi lipid yang berbeda dibandingkan plasebo. Sebaliknya, pemberian bubuk tomat dengan kandungan likopen yang sama menunjukkan peningkatan kapasitas antioksidan dan penurunan biomarker stres oksidatif, yang diduga disebabkan oleh adanya interaksi sinergis antara likopen dengan senyawa bioaktif lain yang terdapat dalam tomat.

Dari aspek keamanan, kandungan likopen dalam Tomato Electrolyte Drink juga jauh berada di bawah Acceptable Daily Intake (ADI) yang ditetapkan oleh European Food Safety Authority (EFSA), yaitu 0,5 mg/kg berat badan/hari (Leh *et al.* 2022). Selain itu, kasus toksisitas likopen (lycopenodermia) hanya dilaporkan pada individu yang mengonsumsi tomat atau jus tomat dalam jumlah sangat tinggi dan dalam jangka waktu lama, misalnya sekitar 2 liter jus tomat per hari selama beberapa tahun, yang ditandai dengan perubahan warna kulit menjadi jingga (Laza, 2014). Pemilihan penggunaan 30 g bubuk tomat dalam formulasi juga mempertimbangkan karakteristik fisik minuman. Penambahan bubuk tomat dalam jumlah yang lebih tinggi menghasilkan viskositas yang meningkat sehingga minuman menjadi lebih kental dan berpotensi menurunkan penerimaan serta kenyamanan konsumsi oleh atlet, terutama setelah melakukan aktivitas fisik.

Kandungan likopen yang terdapat pada bubuk tomat ini menunjukkan jumlah total likopen dalam produk, namun belum menggambarkan jumlah likopen yang benar-benar dapat diserap oleh tubuh. Bioavailabilitas likopen ini dipengaruhi oleh bentuk isomen (cis atau trans), keberadaan lemak dalam makanan, proses pemanasan, dan matriks pangan. Sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai bioavailabilitas yang dihasilkan pada bubuk tomat varietas ini.

4.1.2 Uji Organoleptik *Tomato Electrolyte Drink*

Uji organoleptik pada *tomato electrolyte drink* bertujuan untuk melihat daya terima dari produk yang dikembangkan sebelum diberikan kepada subjek

penelitian sebagai intervensi. Uji yang dilakukan adalah uji hedonik (Tabel 7) dan uji mutu hedonik (Tabel 8).

Tabel 7 Hasil uji hedonik *Tomato Electrolyte Drink*

Parameter	Mean $\pm$ SD	p-value
Warna	4,86 $\pm$ 1,53	0,740
Aroma	4,41 $\pm$ 2,08	0,126
Tekstur	4,82 $\pm$ 2,03	0,680
Rasa	2,99 $\pm$ 1,83	0,000
<i>Aftertaste</i>	3,40 $\pm$ 1,93	0,000
Keseluruhan	4,18 $\pm$ 1,73	0,012

Keterangan: data sensori disajikan sebagai nilai rata-rata $\pm$ standar deviasi. Analisis statistik dilakukan menggunakan uji *Wilcoxon Signed-Rank* dengan nilai pembandingan 5 (netral). Nilai $p < 0,05$ menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap nilai netral.

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa hanya 3 parameter yang memiliki perbedaan nyata dengan nilai netral yaitu rasa, *aftertaste*, dan keseluruhan. Sedangkan untuk ketiga parameter lainnya tidak berbeda nyata dengan nilai pembandingan yaitu skor 5. Hal ini menunjukkan bahwa warna, aroma, dan tekstur masih dapat diterima dan disukai oleh para panelis. Hasil ini dapat dihubungkan dengan hasil uji mutu hedonik yang dapat dilihat pada Tabel 8.

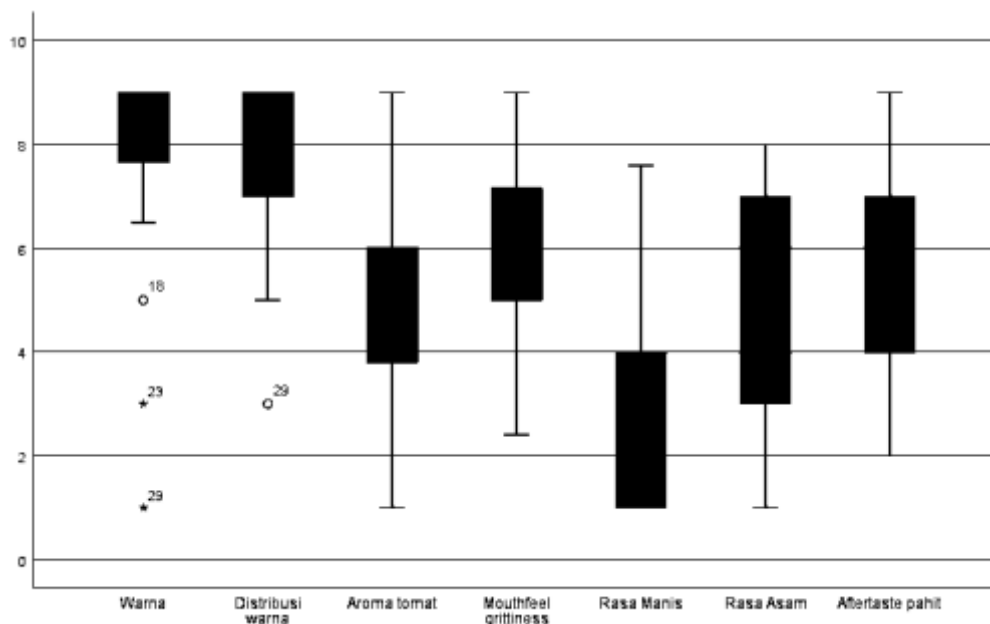
Tabel 8 Hasil uji mutu hedonik *Tomato Electrolyte Drink*

Parameter	Median (IQR)	Rerata $\pm$ SD	Rentang	Interpretasi
Warna	8,40 (—)	7,83 $\pm$ 1,74	1,00–9,00	Sangat cokelat
Distribusi warna	8,00 (—)	7,77 $\pm$ 1,37	3,00–9,00	Sangat merata
Aroma tomat	5,00 (—)	4,84 $\pm$ 1,77	1,00–9,00	Moderat
<i>Mouthfeel</i>	6,00 (—)	5,95 $\pm$ 1,77	2,40–9,00	Moderat
<i>grittiness</i>	3,00 (—)	2,91 $\pm$ 1,87	1,00–7,60	Tidak manis
Rasa manis	5,00 (—)	5,01 $\pm$ 2,25	1,00–8,00	Moderat
Rasa asam	5,00 (—)	5,42 $\pm$ 2,04	2,00–9,00	Moderat
Rasa pahit	5,00 (—)			

Keterangan: data mutu hedonik disajikan sebagai median, rata-rata $\pm$ standar deviasi (SD), dan rentang (minimum–maksimum). Data dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi intensitas setiap atribut sensorik menggunakan skala 9 poin, di mana skor yang lebih tinggi menunjukkan intensitas yang dirasakan lebih kuat.

Warna minuman yang dikembangkan dapat diinterpretasikan sangat cokelat, dikarenakan bubuk tomat yang digunakan berasal dari proses pemanasan, sehingga terjadi penggelapan warna. Tomat yang pada dasarnya mengandung lebih banyak fruktosa dan glukosa dibandingkan sukrosa (Zhao *et al.* 2016), menjadikannya berubah cokelat lebih cepat dan lebih reaktif ketika dikenai pengolahan termal (Luna & Aguilera 2013). Sedangkan untuk parameter aroma, tomat yang telah melalui proses pemanasan yang panjang masih

memiliki aroma yang kuat. Hal ini disebabkan karena tingginya kandungan senyawa volatil, yang membentuk aroma pada tomat, seperti aldehida yang tinggi (cis-3-heksenal dan benzaldehida) pada perikarp tomat (Li *et al.* 2019) masih dapat timbul setelah dilakukan pemanasan. Rasa asam yang masih dominan pada produk bubuk tomat disebabkan oleh stabilitas asam organik, khususnya asam sitrat dan asam malat, dan perubahan rasio gula dan asam akibat peningkatan bahan kering menyebabkan persepsi rasa cenderung lebih asam (Andelini *et al.* 2023). Melalui Qiu *et al.* (2018) tomat yang diberikan perlakuan proses therman dan juga pengeringan menunjukkan asam sitrat dan asam malat tetap stabil terhadap panas, bahkan dapat lebih meningkat karena efek konsentrasi selama pengeringan. Sedangkan untuk rasa pahit merupakan hasil dari reaksi pencoklatan (reaksi Maillard dan karamelisasi). Hal ini dapat terjadi akibat dari proses pengeringan yang dilakukan yang dipengaruhi oleh suhu, waktu, aktivitas air, pH, keberadaan asam amino dan gula pereduksi dan bahkan vitamin C (El Hosry *et al.* 2025).



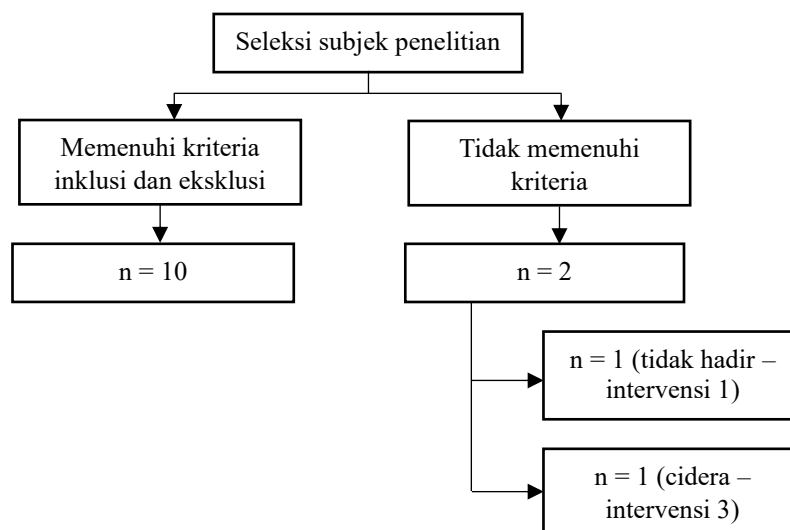
Gambar 6 Diagram kotak (*boxplot*) distribusi skor mutu hedonik di seluruh atribut sensorik *Tomato Electrolyte Drink*. Data disajikan sebagai median (garis tengah), rentang interkuartil (kotak), dan rentang (garis vertikal). Nilai pencilan ditampilkan sebagai titik individual. Evaluasi sensorik dilakukan menggunakan skala kualitas hedonik 9 poin, di mana nilai yang lebih tinggi mewakili intensitas persepsi yang lebih kuat dari setiap atribut.

Uji organoleptik dilakukan kepada 35 orang dengan tidak ada pembandingan dari produk atau formula lainnya. Produk diuji dengan daya terima dan melihat mutu hedonik dari produk. Gambar 6 menunjukkan hasil uji oragnoleptik terhadap mutu hedonic. Secara umum parameter warna dan distribusi warna memiliki median tertinggi (8-9) yang menunjukkan bahwa panelis cenderung memberikan nilai sangat cokelat dan sangat merata pada produk. Sedangkan pada parameter rasa manis memiliki median paling rendah (sekitar 3),

mengindikasikan bahwa tingkat kemanisan produk relative kurang dirasakan. Hal dikarenakan bubuk tomat yang menghasilkan rasa pahit, pengurangan glukosa saat pengeringan berlangsung, serta standar BPOM mengenai penambahan sirup glukosa dalam pertaturannya mengenai formula pada minuman elektrolit tidak berkarbonasi.

4.2 Karakteristik Subjek Penelitian

Atlet pelari jarak jauh yang memiliki ketersediaan pada awal penjelasan persetujuan sebelum perlakuan berjumlah 12 orang. Penelitian dengan intervensi kepada subjek dimulai pada awal bulan Januari hingga awal Februari. Tahap awal penelitian dilakukan dengan penjelasan mengenai perlakuan yang diberikan dan penandatanganan formulir persetujuan menjadi subjek penelitian dengan memenuhi beberapa syarat pada saat perlakuan diberikan. Setelah persetujuan ditandatangani oleh para subjek, peneliti melakukan tahap selanjutnya yaitu mengumpulkan informasi dasar mengenai subjek, *food recall*, komposisi tubuh, dan menghitung kebutuhan cairan masing-masing individu. Intervensi yang dilakukan selama 3 minggu, sehingga di beberapa titik intervensi dilakukan sebanyak 2 orang dikeluarkan dari subjek penelitian akibat tidak menghadiri salah satu titik intervensi dan cedera (Gambar 7).



Gambar 7 Diagram alir subjek penelitian

Atlet yang menjadi subjek penelitian adalah atlet yang berada dibawah Physical Center Sumatera Utara dan sedang berlatih di Stadion Universitas Negeri Medan. Para atlet juga diterangkan mengenai batasan konsumsi bahan makanan yang tinggi likopen seperti jambu biji merah, semangka, dan anggur, sehingga keterbatasan penelitian dapat tetap terjaga kualitasnya yang hanya didasarkan pada perlakuan saja. Karakteristik subjek yang ikut dalam penelitian yaitu dengan rata rata umur 23 tahun dengan tingkat pendidikan 80% lulusan SMA dan 90% dengan nomor perlombaan 5000 & 10000 m (Tabel 9). Subjek dalam penelitian didominasi dengan atlet perempuan dengan pendidikan terakhir matoritas adalah SMA, serta kos-kosan sebagian besar tempat tinggal subjek selama masa pelatihan di tempat latihan terkait.

Tabel 9 Karakteristik dasar subjek penelitian

Variabel	n	%
Jenis kelamin		
Laki-laki	3	30
Perempuan	7	70
Nomor perlombaan		
5000 m	2	20
10000 m	1	10
5000 & 10000 m	6	60
Marathon	1	10
Pendidikan terakhir		
SMA	8	80
S1	2	20
Tempat tinggal		
Kos-kosan	6	60
Rumah orang tua	3	30
Asrama	1	10

Pengukuran untuk komposisi tubuh juga dilakukan untuk melihat karakteristik dasar dari subjek penelitian yaitu indeks massa tubuh (IMT), persentase lemak tubuh, dan persentase otot rangka dengan alat BIA yang dilakukan sebelum intervensi dilakukan pada subjek (Tabel 10).

Tabel 10 Rerata $\pm$ SD karakteristik subjek dan asupan makan

Variabel	Rerata $\pm$ SD
Karakteristik	
Umur (tahun)	23 $\pm$ 2
Berat badan (kg)	50,0 $\pm$ 6,1
Tinggi badan (cm)	154,2 $\pm$ 8,1
IMT (kg/m ²)	21,1 $\pm$ 2,5
Persentase Lemak tubuh	22,3 $\pm$ 6,6
Persentase Otot Rangka	29,4 $\pm$ 4,5
Kebutuhan Cairan (mL/menit)	4,75 $\pm$ 1,9
Asupan makan	
Energi (kkal)	2187 $\pm$ 570
Karbohidrat (gr)	251 $\pm$ 86
Lemak (gr)	101 $\pm$ 29
Protein (gr)	96 $\pm$ 38
Tingkat Kecukupan Gizi	
Energi (%)	82 $\pm$ 22
Karbohidrat (%)	63 $\pm$ 22
Lemak (%)	95 $\pm$ 34
Protein (%)	135 $\pm$ 31

Pengukuran asupan makan juga dilakukan kepada subjek dengan formulir *food recall* 24 h x 2 hari (hari kerja dan hari libur). Konsumsi rata-rata energi dapat dilihat dalam kategori tidak mencukupi dari kebutuhan gizi rata-rata yaitu sebesar 2669 kkal. Konsumsi makan para subjek juga masih dilakukan secara mandiri

dalam penyediaannya, sehingga makanan yang dikonsumsi masih belum seimbang dalam pemenuhannya. Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat konsumsi lemak subjek sebesar 101 ± 29 melebihi dari kebutuhan rata-rata sebesar 74 ± 6 dengan kebutuhan lemak sebesar 25% per hari. Schek *et al.* (2020) menyatakan bahwa kebutuhan atlet tingkat tinggi yang ambisius harus menyediakan maksimal 30% dan minimal 20% energi lemak dan memprioritaskan pola asam lemak yang menyehatkan. Diet tinggi lemak diketahui dapat mengurangi konsentrasi glikogen otot dan hati yang akan menurunkan kinerja (Jeukendrup 2003). Diet tinggi lemak tidak menyebabkan perubahan positif pada kapasitas aerobik dan performa olahraga atlet ketahanan (Cao *et al.* 2021), sehingga perlunya konsumsi lemak yang tidak berlebih pada subjek.

Asupan protein rata-rata subjek penelitian sebesar 96 ± 38 sudah mendekati dari kebutuhan rata-rata yaitu 100 ± 8 dengan kebutuhan sebesar 15% dari total kebutuhan energi. Asupan protein yang cukup dan baik sebelum, selama dan setelah latihan berpotensi menekan resorpsi tulang dan respons inflamasi, sehingga berperan penting dalam menjaga kesehatan tulang pada atlet ketahanan (Ferreira *et al.* 2025). Rekomendasi asupan protein harus terpenuhi setidaknya untuk memberikan kestabilan dalam kinerja latihan, tidak ditemui dosis tinggi dapat meningkatkan kinerja, akan tetapi mengoptimalkan asupan protein dapat memberikan dampak positif dalam mengoptimalkan respons metabolisme adaptif terhadap pelatihan ketahanan (Witard *et al.* 2025). Maka dari itu pemenuhan kebutuhan protein harus didasarkan pada kebutuhan personal pribadi dan tidak dengan peningkatan secara tiba-tiba. Konsumsi protein yang tinggi dalam jangka panjang belum ditemukan adanya efek positif (Egan 2016), walaupun protein sangat penting untuk perbaikan jaringan dan metabolisme, asupan berlebihan dapat membebani fungsi ginjal (Mawlood 2025).

Asupan karbohidrat rerata subjek penelitian adalah 251 ± 86 yang masih jauh dari kebutuhan rerata yaitu 400 ± 34 . Hal ini menunjukkan kesinambungan dari masih kurangnya asupan energi total dari subjek penelitian. Subjek penelitian masih banyak melewatkan jam makan dan tidak mengonsumsi makanan yang seimbang terutama dari sumber makanan karbohidrat. Konsumsi karbohidrat (CHO) dari batangan, gel, minuman dan bubuk menjadi umum dalam meningkatkan performa latihan ketahanan yang baik dikonsumsi oleh atlet sebelum, sesudah, dan/atau setelah latihan atau kompetisi (Naderi *et al.* 2023). Saat ini subjek sudah mengonsumsi beberapa minuman karbohidrat pada saat latihan dan juga kompetisi, akan tetapi konsumsi ini dihentikan terlebih dahulu selama masa intervensi untuk mencegah hasil yang tidak. Beberapa subjek penelitian merasa bahwa harus menurunkan asupan yang dikonsumsi setiap hari karena merasa menjaga bentuk tubuh adalah yang terpenting untuk menghasilkan kinerja yang lebih baik, sehingga subjek sudah memiliki kesadaran yang baik terhadap makanan yang dikonsumsi, sehingga hal ini berkorelasi positif dengan rerata IMT subjek penelitian yaitu $21,1 \pm 2,5$.

Tingkat kecukupan gizi yang diperoleh adalah bahwa rerata subjek sudah memenuhi kebutuhan gizi ($\geq 80\%$) khususnya untuk energi, lemak dan protein. Berbeda dengan hal tersebut, karbohidrat masih belum terpenuhi kebutuhannya yaitu dengan rerata $63\% \pm 22$. Hal ini disebabkan kurang teraturnya pola makan antara para atlet, sehingga kebutuhan dari sumber karbohidrat terbatas dalam pemenuhannya. Hal ini berbanding terbalik dengan kebutuhan karbohidrat yang seharusnya dipenuhi oleh para atlet *endurance*, yang digunakan dalam

mempertahankan ketersediaan energi, kadar glukosa darah, dan performa atlet (Cao *et al.* 2025). Karbohidrat juga diketahui sebagai sumber dalam mempertahankan cadangan glikogen, sehingga mendukung performa dan proses pemulihan (Mata *et al.* 2019). Maka dari itu kebutuhan karbohidrat harus dipenuhi dalam memastikan cadangan glikogen otot tetap terjaga tanpa mengurangi sumber energi dari jenis zat gizi lainnya.

4.3 Personalisasi Kebutuhan Cairan Subjek Penelitian

Cairan individu dipersonalisasi berdasarkan perhitungan *sweat rate* (ml/menit) yang diukur pada hari Senin, saat latihan di pagi hari setiap individu. Hal ini dilakukan untuk memastikan seluruh latihan yang diberikan sama dengan saat pemberian intervensi dilakukan. Kehilangan keringat dihitung dari perubahan massa yang disesuaikan dengan asupan cairan dan volume urin yang dihasilkan dan tidak memperhitungkan kehilangan cairan yang tidak disadari yang diperoleh sebagai akibat dari metabolisme glikogen (Godek *et al.* 2010).

Tabel 11 Perhitungan kebutuhan cairan individu subjek penelitian

No	BB sebelum latihan (kg) (C)	BB sesudah latihan (kg) (D)	Perubahan BB (kg) (E)	Volume cairan yang diminum (mL) (F)	Volume urin (mL) (G)	Kehilangan keringat (mL) (H) = E+F-G	Waktu latihan (mnt) (I)	<i>Sweat Rate</i> (mL/mnt) (H/I)
1	40,5	40,5	0	1000	10	990	113	8,76
2	49,2	48,8	0,4	600	0	600,4	104	5,77
3	51,6	51,4	0,2	220	0	220,2	102	2,16
4	48,6	47,5	1,1	250	0	251,1	100	2,51
5	55	54,4	0,6	500	10	490,6	115	4,27
6	50,8	50,6	0,2	450	0	450,2	115	3,91
7	59,3	59,4	-0,1	400	0	399,9	60	6,67
8	40,2	40,2	0	350	0	350	100	3,50
9	52,2	52,2	0	650	0	650	115	5,65
10	53,1	52,9	0,2	450	0	450,2	105	4,29

Berdasarkan Tabel 11 hanya terdapat 2 orang yang mengeluarkan urin pada saat latihan yang ditampung melalui pisvot yang diberikan sebelum latihan dimulai kepada subjek. Waktu latihan pada subjek bervariasi dikarenakan hari Senin adalah hari dimana subjek melakukan latihan secara mandiri tanpa adanya program latihan yang berjalan, tetapi subjek diwajibkan latihan di pagi hari. Variasi ini menghasilkan rerata *sweat rate* sebesar 4,75 (Tabel 9). Cairan yang dikonsumsi selama latihan dihitung berdasarkan air yang dikonsumsi pada botol minum yang dibawa masing-masing individu. Sedangkan individu yang tidak membawa botol minum sendiri disediakan oleh peneliti dengan air mineral yang sudah disediakan. Cairan yang dikeluarkan (urin) saat latihan yang berlangsung lama menimbulkan penurunan jumlah urin yang disebabkan filtrasi di glomerulus terganggu, sehingga komposisi urin berubah (Żołądkiewicz 2019). Saat berlari, aliran darah dialihkan ke otot aktif sehingga perfusi ginjal menurun hingga 25% dari nilai istirahat sehingga produksi urin juga ikut berkurang (Poortmans 1984). Subjek yang

melakukan latihan daya tahan memiliki peningkatan kehilangan cairan yang dapat dilihat dari perubahan berat badan sebelum dan sesudah latihan (E) (Tabel 10). Cairan yang dikonsumsi selama minum juga merupakan kebiasaan minum subjek selama latihan sehari-hari, tanpa adanya paksaan untuk memberhentikan dan/atau meningkatkan konsumsi cairan.

Personalisasi cairan ini dilakukan dalam pemenuhan kebutuhan cairan yang disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing individu. Bahkan pada prinsipnya, cairan yang dipersonalisasi menjadi salah satu strategi yang dapat mengurangi kenaikan denyut nadi selama sesi latihan dengan intensitas moderat hingga tinggi (de Melo-Marins *et al.* 2018). Pengujian keringat ini juga diketahui dapat memperkirakan kehilangan Na^+ keringat atlet untuk membantu memandu strategi penggantian cairan/elektrolit (Baker 2017). Sehingga personalisasi cairan pada atlet dapat menjadi optimalisasi dalam status hidrasi, tanpa memedulikan kondisi lingkungan (Li *et al.* 2024).

4.4 Pengaruh *Tomato Electrolyte Drink* terhadap *Recovery Performance*

Tomato Electrolyte Drink diberikan kepada subjek dengan membandingkan dengan 2 perlakuan lainnya yaitu air putih sebagai placebo dan jus tomat sebagai salah satu cara olahan yang sering dikonsumsi oleh masyarakat. *Recovery performance* adalah salah satu yang harus dipertimbangkan dalam masa latihannya (Kellman *et al.* 2018). Salah satu metode dalam pemulihan performa pada atlet adalah penggantian cairan, bahkan penggantian cairan $\geq 60\%$ dapat cukup memulihkan variabilitas detak jantung 24 jam setelah berolahraga dalam kondisi panas (Manning *et al.* 2023).

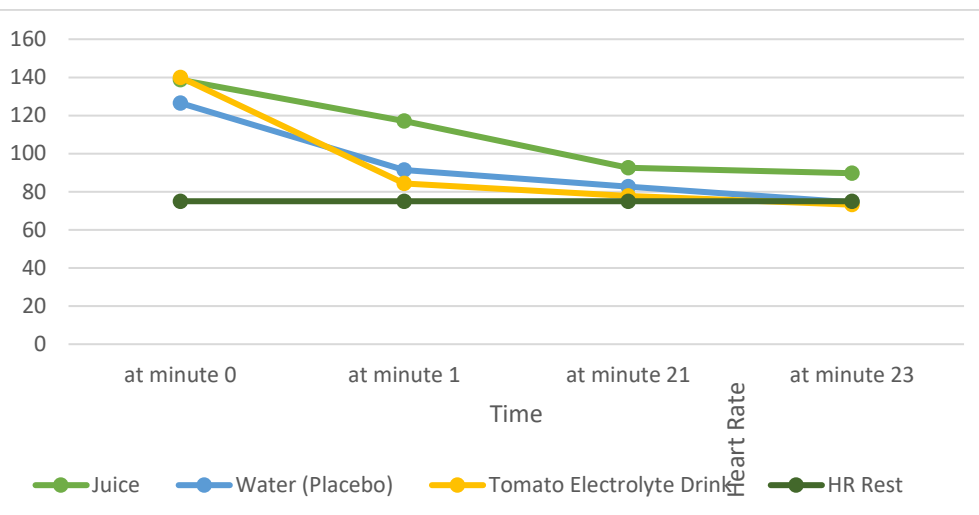
Pemulihan denyut nadi setelah bleep test menunjukkan penurunan yang signifikan pada seluruh kelompok perlakuan, yaitu jus, air, dan minuman elektrolit, dari kondisi segera setelah latihan hingga menit ke-23 pemulihan (Gambar 8). Penurunan denyut nadi terjadi paling besar pada fase awal pemulihan dan kemudian melandai pada menit-menit selanjutnya, yang mencerminkan respons pemulihan kardiovaskular yang efektif setelah latihan intensitas tinggi. Berdasarkan Gambar 8 juga dapat dilihat bahwa pada menit ke 21 *Tomato Electrolyte Drink* adalah minuman yang pertama berhasil mendekati denyut nadi istirahat dibandingkan dengan 2 perlakuan lainnya, sedangkan untuk menit ke 23 ditemukan bahwa *Tomato Electrolyte Drink* berhasil menurunkan denyut nadi hingga dibawah rata-rata denyut nadi istirahat (75 bpm).

Hasil analisis statistik mendukung temuan ini, di mana seluruh kelompok menunjukkan perbedaan denyut nadi yang signifikan antara menit ke-23 dan pascalatihan ($p < 0,05$) (Tabel 12).

Tabel 12 Hasil uji *Wilcoxon* denyut nadi pemulihan setelah pemberian minuman jus, air, dan *Tomato Electrolyte Drink*

Variabel	Perbandingan	Z	p value
Denyut nadi (HR)	Jus (HR5 – HR2)	-2,805	0,005*
	Air (HR5 – HR2)	-2,803	0,005*
	<i>Tomato Electrolyte Drink</i> (HR5 – HR2)	-2,805	0,005*

Uji peringkat bertanda *Wilcoxon*; $p < 0,05$ menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik.



Gambar 8 Pemulihan denyut nadi setelah intervensi minuman yang berbeda (jus, air, dan elektrolit) yang diukur pada beberapa titik waktu setelah berolahraga. Nilai disajikan sebagai rata-rata. *Perbedaan signifikan dibandingkan dengan nilai sebelum intervensi ($p < 0,05$).

Uji pengukuran berulang dilakukan terhadap nilai VO_{2max} sebagai data tambahan. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah perlakuan yang diberikan benar-benar memberikan pengaruh terhadap nilai akhir performance recovery, yang diukur berdasarkan VO_{2max} pada pelari jarak jauh (Tabel 13).

Tabel 13 Analisis varians pengukuran berulang (*Repeated Measures ANOVA*) terhadap perubahan VO_{2max} pada berbagai kondisi minuman

Statistik	Nilai
Sumber	Minuman
df	2, 18
F	1,886
p-value	0,180
<i>Partial Eta Squared</i> (η^2)	0,173

Keterangan: data dianalisis menggunakan uji *repeated measures ANOVA* untuk mengevaluasi perbedaan perubahan VO_{2max} pada tiga kondisi minuman (jus tomat, air, dan *tomato electrolyte drink*). Asumsi normalitas telah terpenuhi ($p > 0,05$). Data disajikan dalam bentuk nilai statistik F, tingkat signifikansi (*p-value*), dan ukuran efek (*partial eta squared*, η^2). Nilai $p < 0,05$ menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik.

Hasil uji *repeated measures ANOVA* menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada perubahan VO_{2max} antar ketiga jenis minuman ($F(2,18)=1,886$; $p=0,180$; $\eta^2=0,173$). Meskipun demikian, nilai *effect size* tergolong besar, yang menunjukkan adanya kecenderungan perbedaan, namun tidak signifikan secara statistik.

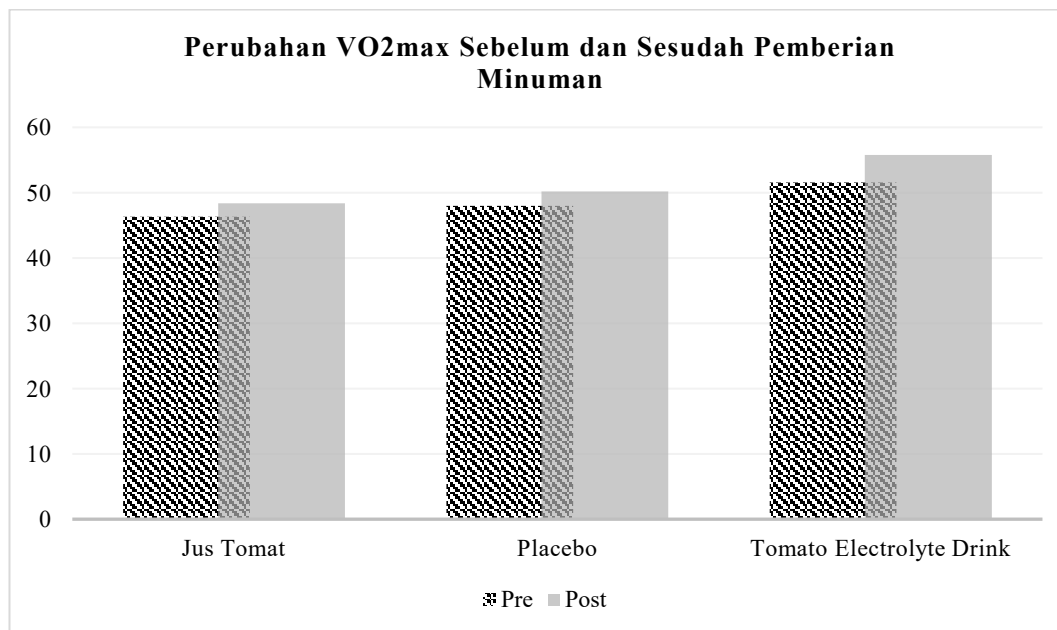
VO_{2max} adalah salah satu parameter penting lainnya untuk menilai *recovery performance* dari perlakuan yang diberikan. Berdasarkan Gambar 9, seluruh perlakuan memberikan peningkatan yang signifikan terhadap VO_{2max} . VO_{2max} diukur melalui hasil interpretasi dari *bleep test* yang mengukur daya tahan dari subjek penelitian. Perlakuan memiliki makna memberikan hidrasi kepada subjek.

Hidrasi diketahui berperan dalam mengurangi peningkatan detak jantung yang dipicu selama berolahraga, meningkatkan pemulihan otonom melalui percepatan vagal jantung sebagai respons terhadap olahraga dan menyebabkan peningkatan moderat pada tekanan darah sistolik (Porto *et al.* 2023). Bahkan dengan pemberian 500 ml segera setelah 30 menit latihan dapat mempercepat reaktivasi vagal jantung pasca latihan (Vianna *et al.* 2008). Adanya tambahan hidrasi yang baik, bahkan dengan konsumsi air dingin, sistem saraf otonom yang dicerminkan melalui variabilitas detak jantung mengaktifkan kedua cabang untuk menjaga homeostasis, yang mencegah kehilangan panas melalui aktivasi simpatik dan membatasi peningkatan tekanan darah dan detak jantung yang berlebihan melalui regulasi parasimpatik (Knežević *et al.* 2025).

Tabel 14 Hasil uji *T-test* VO_2max sebelum dan sesudah pemberian minuman jus, air, dan *Tomato Electrolyte Drink*

Variabel	Perbandingan	Z	p value
VO_2max (HR)	Jus (Post – Pre)	–2,805	0,029*
	Air (Post – Pre)	–2,803	0,193
	<i>Tomato Electrolyte Drink</i> (Post – Pre)	–2,805	0,000*

Keterangan: Analisis dilakukan menggunakan uji *Paired Samples t-test* untuk membandingkan nilai VO_2max sebelum (*pre*) dan sesudah (*post*) pemberian jus tomat, placebo, dan *tomato electrolyte drink*. Nilai $p < 0,05$ menunjukkan perbedaan yang signifikan.



Gambar 9 Perubahan VO_2max sebelum dan sesudah latihan pada tiga kondisi minuman (jus tomat, air, dan *tomato electrolyte drink*). Data disajikan dalam bentuk *estimated marginal means*. Seluruh kelompok menunjukkan peningkatan VO_2max , namun tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($p > 0,05$).

Sejalan dengan hal tersebut, berdasarkan Tabel 14 dan Gambar 8 diperlihatkan bahwa denyut nadi menurun secara cepat lalu melandai seiring waktu.

Pola ini menunjukkan adanya pemulihan kardiovaskular yang baik. Pemulihan denyut jantung yang lebih cepat setelah latihan berkaitan dengan tingginya modulasi kardiovagal, yang mencerminkan aktivitas sistem saraf parasimpatis yang lebih baik, yang menunjukkan bahwa individu dengan regulasi otonom yang baik memiliki kemampuan pemulihan kardiovaskular yang lebih cepat setelah aktivitas fisik maksimal (da Fonseca *et al.* 2024). Dengan demikian, peningkatan VO_{2max} yang diamati dalam penelitian ini diduga berkaitan dengan efektivitas hidrasi dalam mendukung pemulihan sistem kardiovaskular, yang ditandai dengan percepatan pemulihan denyut jantung dan peningkatan fungsi otonom tubuh.

Pemberian cairan yang dipersonalisasi memungkinkan tercapainya keseimbangan cairan tubuh secara optimal, sehingga respons kardiovaskular subjek menjadi relatif seragam. Kekurangan cairan atau kondisi dehidrasi diketahui dapat mengganggu fungsi vaskular dan regulasi kardiovaskular melalui penurunan fungsi endotel serta perubahan regulasi tekanan darah, baik saat istirahat, selama olahraga, maupun pada kondisi stres ortostatik (Watso & Farquhar 2019). Bahkan, apabila dehidrasi terjadi dalam tingkat yang cukup parah, kondisi tersebut dapat mengganggu kinerja fisik dan mental atlet serta menurunkan performa, terutama pada lingkungan panas dan latihan berdurasi panjang (Maughan & Shirreffs 2010).

Seluruh jenis minuman dalam penelitian ini sama-sama ditambahkan dengan air, sehingga tidak ditemukan perbedaan yang signifikan terhadap denyut nadi antar perlakuan. Meskipun demikian, berdasarkan grafik penurunan denyut nadi, jenis minuman *tomato electrolyte drink* menunjukkan respons penurunan denyut nadi yang relatif lebih stabil. Stabilitas ini diduga berkaitan dengan keberadaan elektrolit dan glukosa yang bekerja secara sinergis dalam mempertahankan keseimbangan fisiologis selama masa pemulihan. Natrium klorida yang ditambahkan berperan dalam menggantikan elektrolit yang hilang melalui keringat selama latihan, mengingat elektrolit ini berpengaruh terhadap osmolalitas cairan ekstraseluler, dorongan rasa haus, retensi cairan, serta distribusi cairan antara kompartemen intraseluler dan ekstraseluler (McCubbin 2025).

Selain itu, kombinasi natrium klorida dan kalium klorida diketahui mampu meningkatkan performa atlet endurance melalui peningkatan pH darah saat istirahat dan peningkatan kadar bikarbonat (Chycki *et al.* 2018). Perubahan pH darah ini dilaporkan dapat memberikan dampak yang penting dan kompleks terhadap ritme jantung secara independen dari aktivitas sistem saraf otonom, khususnya pada kisaran denyut jantung 60 hingga 90 bpm (Severi *et al.* 2002). Oleh karena itu, pemberian elektrolit menjadi faktor penting dalam menstabilkan denyut nadi selama proses pemulihan atlet.

Selain elektrolit, likopen yang terkandung dalam tomat juga berperan penting dalam mendukung status hidrasi dan recovery performance. Likopen diketahui mampu menghambat aktivitas enzim 3-hidroksi-3-metilglutaril-CoA reduktase (HMG-CoA reduktase), yaitu enzim kunci dalam sintesis kolesterol, sehingga berpotensi menurunkan proses pembentukan kolesterol dalam tubuh (Dwianggimawati *et al.* 2025). Hal ini relevan mengingat denyut nadi istirahat dilaporkan berkorelasi dengan kadar LDL yang lebih tinggi (Sun *et al.* 2014). Namun demikian, pada jenis minuman *tomato electrolyte drink*, kadar likopen yang diberikan diduga belum cukup optimal untuk memberikan efek maksimal dalam menurunkan sintesis kolesterol, meskipun masih menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap *recovery performance*.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan minyak atau bahan lain yang kaya likopen dapat secara signifikan memperbaiki kadar LDL (Kustiyah *et al.* 2019). Selain itu, penambahan asam lemak omega-3 juga dilaporkan mampu memperbaiki kualitas LDL dan menurunkan kadar LDL kolesterol secara signifikan (Fadila *et al.* 2019). Dengan demikian, efektivitas tomat dalam minuman olahraga berpotensi lebih optimal apabila diformulasikan dengan komponen pendukung tersebut, khususnya dalam kaitannya dengan *recovery performance* yang direfleksikan melalui denyut nadi. Pemberian intervensi dapat diiringi dengan pemberian lemak dari minyak seperti minyak canola, kedelai, mentega, dan sebagainya dalam memperkuat penyerapan likopen dalam tubuh (Arballo *et al.* 2021).

4.5 Pengaruh *Tomato Electrolyte Drink* terhadap Status Hidrasi

Status hidrasi dihitung berdasarkan dengan perubahan berat badan sebelum dan sesudah diberikan minuman perlakuan. Pengukuran berat badan setelah intervensi dilakukan dengan jeda 30 menit untuk minuman perlakuan dikonsumsi.

Tabel 15 Klasifikasi status hidrasi berdasarkan jenis minuman

Status Hidrasi	Jus (n, %)	Air (n, %)	Elektrolit (n, %)
<i>Well hydrated</i>	10 (100%)	10 (100%)	10 (100%)
Total	10 (100%)	10 (100%)	10 (100%)

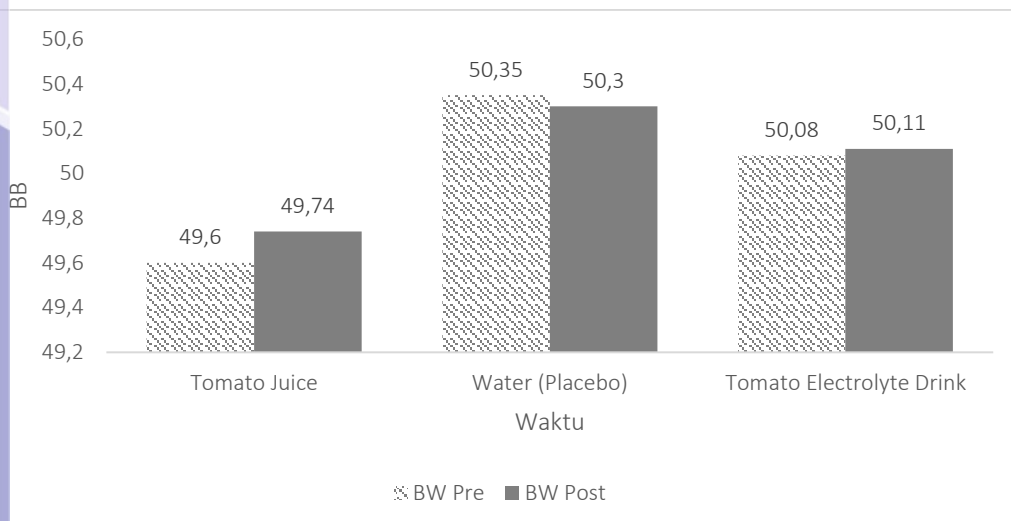
Berdasarkan Tabel 15, seluruh responden pada masing-masing kelompok minuman, yaitu jus, air, dan elektrolit, menunjukkan status hidrasi dalam kategori *well hydrated* dengan persentase sebesar 100%. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan status hidrasi secara deskriptif antar ketiga jenis minuman.

Tabel 16 Hasil uji *Wilcoxon* perubahan berat badan setelah pemberian minuman jus, air, dan *Tomato Electrolyte Drink*

Variabel	Perbandingan	Z	p value
Perubahan berat badan	BB Jus (Post) – BB Jus (Pre)	-2,124	0,034*
	BB Air (Post) – BB Air (Pre)	-1,179	0,238
	BB Elektrolit (Post) – BB Elektrolit (Pre)	-1,342	0,180

Uji peringkat bertanda *Wilcoxon*; $p < 0,05$ menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik.

Jus tomat merupakan salah satu jenis minuman yang dalam penelitian ini berpotensi menjaga status hidrasi atlet dengan kandungan tomat sebanyak 100 gram. Hal ini disebabkan oleh kandungan air dalam tomat yang berkisar antara 90,92% hingga 96,16% (Zhang *et al.* 2023), sehingga dapat menambah total asupan cairan dibandingkan dua jenis minuman lainnya. Sebaliknya, pada *tomato electrolyte drink*, tekstur minuman menjadi lebih kental akibat penambahan bubuk tomat sebanyak 30 g pada volume cairan yang relatif lebih sedikit. Tekstur yang lebih kental dibandingkan jus tomat ini memberikan sensasi konsumsi yang berbeda, yang cenderung kurang disukai dibandingkan minuman yang lebih encer, karena setelah dikonsumsi tidak secara optimal mengurangi sensasi mulut kering (Pico-Muñoz *et al.* 2023). Oleh karena itu, jus tomat berpotensi memberikan status hidrasi yang lebih baik dibandingkan dua jenis minuman lainnya.



Gambar 10 Perubahan berat badan setelah mengonsumsi minuman. Nilai disajikan sebagai nilai rata-rata.

Status hidrasi yang signifikan dalam kestabilannya pada tubuh di kelompok jus tomat. Hal ini didasarkan pada komposisi minuman tersebut, yang mengandung air, karbohidrat alami, kalium, natrium serta berbagai zat terlarut dalam jumlah relatif seimbang sehingga diduga mendukung penyerapan dan retensi cairan. Sedangkan pada kelompok *Tomato Electrolyte Drink* mengandung tambahan glukosa, NaCl, KCl, dan bubuk tomat yang berpotensi meningkatkan konsentrasi zat terlarut.

Tomato Electrolyte Drink dalam tubuh lebih lama diserap oleh tubuh khususnya untuk memberikan manfaat hidrasi yang baik. Hal ini dikarenakan kekentalan cairan yang dimiliki oleh produk ini yang mempengaruhi sistem pencernaan dalam tubuh untuk menyerapnya. Salah satunya disebabkan oleh pengosongan lambung yang semakin lama akibat dari konsentrasi kalori, kimus (gumpalan makanan), dan keadaan fisik (cair/padat) makanan (Menard *et al.* 2018). Kekentalan (viskositas) cairan yang dikonsumsi memengaruhi pengosongan lambung, yang lebih cair dapat lebih cepat dalam prosesnya di lambung (Menard *et al.* 2018), bahkan minuman dengan viskositas yang rendah dapat memicu peningkatan glukosa plasma, insulin, serta hormon-hormon usus yang berkaitan dengan rasa kenyang (seperti kolesistokinin, GLP-1 dan peptide YY) dan juga menurunkan hormon pemicu rasa lapar (ghrelin) pascapandrial (Juvonen *et al.* 2009). Rasa kenyang yang terjadi pada lambung akan mempengaruhi konsumsi air yang dibutuhkan. Hal ini disebabkan karena rasa kenyang yang disebabkan oleh konsumsi cairan dengan viskositas rendah akan menghasilkan rasa kenyang semu (Camps *et al.* 2016), sedangkan sebaliknya untuk viskositas tinggi akan menyebabkan perlambatan hidrasi yang disebabkan dari proses penyaringan lambung (*gastric sieving*) antara cairan dan gumpalan makanan (kismus) yang akan ditahan dan pada akhirnya akan menunda proses hidrasi pada tingkat sel (Camps *et al.* 2017). Sehingga viskositas menjadi salah satu faktor dari hidrasi pada *Tomato Electrolyte Drink* tidak memberikan efek yang signifikan terhadap status hidrasi. Maka dibutuhkan adanya proses pengolahan yang lebih baik dalam peningkatan penyerapan dari lipopen untuk status hidrasi untuk penelitian selanjutnya.

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa formula *Tomato Electrolyte Drink* dikembangkan sesuai dengan ketentuan BPOM Nomor 24 Tahun 2023 tentang Kategori Pangan untuk minuman elektrolit tidak berkarbonasi dengan penambahan bubuk tomat sebanyak 30 g. Hasil uji organoleptik menunjukkan bahwa formula yang dikembangkan memiliki tingkat penerimaan yang baik setelah dilakukan perbaikan pada karakteristik sensori, terutama aspek rasa, kekentalan, aroma, dan penerimaan secara keseluruhan. Berdasarkan hasil intervensi, pemberian *Tomato Electrolyte Drink* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *recovery performance* pada pelari jarak jauh. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan nilai VO_{2max} setelah intervensi serta penurunan denyut nadi pemulihan yang mengindikasikan proses pemulihan kardiovaskular berlangsung lebih baik setelah aktivitas fisik. Meskipun demikian, pada indikator status hidrasi, pemberian *Tomato Electrolyte Drink* tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan yang diukur berdasarkan perubahan berat badan setelah latihan.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara *Tomato Electrolyte Drink*, jus tomat, dan air (*placebo*) pada sebagian besar parameter yang dibandingkan. Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh metode penelitian yang menerapkan personalisasi pemberian cairan berdasarkan kebutuhan masing-masing subjek, sehingga volume cairan yang dikonsumsi telah mampu memenuhi kebutuhan hidrasi setiap individu. Dengan demikian, perbedaan komposisi minuman menjadi kurang memberikan efek yang berbeda terhadap status hidrasi. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa *Tomato Electrolyte Drink* berpotensi sebagai minuman pemulihan (*recovery drink*) bagi pelari jarak jauh melalui peningkatan *recovery performance*, namun belum terbukti memberikan manfaat yang lebih baik dalam mempertahankan status hidrasi dibandingkan jus tomat maupun air.

5.2 Saran

Pemenuhan kebutuhan cairan dan elektrolit merupakan bagian penting dalam mendukung proses pemulihan dan mempertahankan performa atlet, terutama pada cabang olahraga lari jarak jauh yang memiliki risiko kehilangan cairan dan elektrolit akibat aktivitas fisik dengan intensitas tinggi dan durasi yang panjang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Tomato Electrolyte Drink* memiliki potensi sebagai minuman pemulihan, khususnya dalam mendukung pemulihan denyut nadi dan peningkatan kapasitas aerobik setelah latihan. Oleh karena itu, minuman ini dapat dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif minuman pemulihan yang disesuaikan dengan kebutuhan cairan masing-masing atlet.

Penerapan strategi hidrasi dan pemenuhan kebutuhan gizi sebaiknya dilakukan secara individual (*personalized nutrition and hydration*) dengan mempertimbangkan karakteristik atlet, tingkat kehilangan cairan, intensitas latihan, serta kebutuhan energi dan elektrolit. Dalam implementasinya, keterlibatan ahli gizi olahraga sangat diperlukan untuk merancang intervensi gizi yang tepat sehingga

mampu mendukung proses pemulihan dan mempertahankan performa atlet secara optimal. Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan pengembangan formula *Tomato Electrolyte Drink* dengan mempertimbangkan metode pengolahan yang mampu mempertahankan kandungan zat gizi aktif serta meningkatkan bioavailabilitasnya. Perbaikan karakteristik fisik minuman, seperti viskositas, juga perlu dilakukan agar penyerapan zat gizi dan penerimaan produk menjadi lebih optimal.

Selain itu, penelitian berikutnya disarankan melakukan analisis kandungan elektrolit produk secara lebih komprehensif, seperti natrium, kalium, dan klorida, sehingga hubungan antara komposisi minuman dan respons fisiologis dapat dijelaskan dengan lebih akurat. Penelitian juga perlu melibatkan jumlah subjek yang lebih besar, memperpanjang durasi intervensi, serta mengikutsertakan atlet dari berbagai cabang olahraga agar hasil penelitian memiliki tingkat generalisasi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali MY, Sina AA, Khandker SS, Neesa L, Tanvir EM, Kabir A, Khalil MI, Gan SH. 2020. Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Tomatoes and Their Impact on Human Health and Disease: A Review. *Foods*. 10(1):45. doi: 10.3390/foods10010045.
- Andelini M, Major N, Išić N, Kovačević TK, Ban D, Palčić I, Radunić M, Goreta Ban S. 2023. Sugar and organic acid content is dependent on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) peel color. *Horticulturae*. 9(3):313. doi: 10.3390/horticulturae9030313.
- Arballo J, Amengual J, Erdman JW Jr. 2021. Lycopene: A critical review of digestion, absorption, metabolism, and excretion. *Antioxidants*. 10(3):342. doi: 10.3390/antiox10030342.
- Ardi NF. 2023. Hubungan asupan sarapan pagi dan komposisi tubuh dengan kebugaran fisik atlet cabang olahraga atletik pelatda PON Sumatera Utara [skripsi]. Medan: Universitas Negeri Medan.
- Armstrong LE. 2021. Rehydration during endurance exercise: Challenges, research, options, methods. *Nutrients*. 13(3):887. doi: 10.3390/nu13030887.
- Badan Standardisasi Nasional, B. 2006. SNI 04-7182-2006. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Baker LB. 2017. Sweating rate and sweat sodium concentration in athletes: A review of methodology and intra/interindividual variability. *Sports Medicine*. 47(Suppl 1):111-128. doi: 10.1007/s40279-017-0691-5.
- Barley OR, Chapman DW, Abbiss CR. 2020. Reviewing the current methods of assessing hydration in athletes. *J Int Soc Sports Nutr*. 17(52):1-13. doi: 10.1186/s12970-020-00381-6.
- Bin-Jumah MN, Nadeem MS, Gilani SJ, Mubeen B, Ullah I, Alzarea SI, Ghoneim MM, Alshehri S, Al-Abbasi FA, Kazmi I. 2022. Lycopene: A natural arsenal in the war against oxidative stress and cardiovascular diseases. *Antioxidants*. 11(2):232. doi: 10.3390/antiox11020232.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara. 2025. Produksi tanaman sayuran dan buah-buahan semusim menurut kabupaten/kota dan jenis tanaman di Provinsi Sumatera Utara, 2024. [diakses 2025 Mei 28]. Tersedia dari: <https://sumut.bps.go.id>.
- Boileau TWM, Boileau AC, Erdman JW Jr. 2002. Bioavailability of all-trans and cis-isomers of lycopene. *Experimental Biology and Medicine*. 227(10):914-919.
- Bouscaren N, Faricier R, Millet GY, Racinais S. 2021. Heat acclimatization, cooling strategies, and hydration during an ultra-trail in warm and humid conditions. *Nutrients*. 13(4):1085. doi: 10.3390/nu13041085.

- Braun-Trocchio R, Graybeal AJ, Kreutzer A, Warfield E, Renteria J, Harrison K, Shah M. 2022. Recovery strategies in endurance athletes. *J Funct Morphol Kinesiol.* 7(1):22. doi: 10.3390/jfmk7010022.
- Brito L, Peçanha T, Tinucci T, Silva-Junior N, Costa L, Forjaz C. 2014. Water intake accelerates parasympathetic reactivation after high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol.* 114(9):2051–2059. doi: 10.1123/ijsnem.2013-0122.
- Camps G, Mars M, de Graaf C, Smeets PA. 2016. Empty calories and phantom fullness: A randomized trial studying the relative effects of energy density and viscosity on gastric emptying determined by MRI and satiety. *Am J Clin Nutr.* 104(1):73-80. doi: 10.3945/ajcn.115.129064.
- Camps G, Mars M, de Graaf C, Smeets PA. 2017. A tale of gastric layering and sieving: Gastric emptying of a liquid meal with water blended in or consumed separately. *Physiology & Behavior.* 176:26-30.
- Cao J, Lei S, Wang X, Cheng S. 2021. The effect of a ketogenic low-carbohydrate, high-fat diet on aerobic capacity and exercise performance in endurance athletes: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients.* 13(8):2896. doi: 10.3390/nu13082896.
- Cao W, He Y, Fu R, Chen Y, Yu J, He Z. 2025. A Review of Carbohydrate Supplementation Approaches and Strategies for Optimizing Performance in Elite Long-Distance Endurance. *Nutrients.* 17(5):918. doi:10.3390/nu17050918.
- Carlton A, Orr RM. 2015. The effects of fluid loss on physical performance: A critical review. *J Sport Health Sci.* 4(4):357-363. doi: 10.1016/j.jshs.2014.09.004.
- Casa DJ, Cheuvront SN, Galloway SD, Shirreffs SM. 2019. Fluid needs for training, competition, and recovery in track-and-field athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 29(2):175-180. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0374.
- Cheuvront SN, Montain SJ, Sawka MN. 2007. Fluid replacement and performance during the marathon. *Sports medicine.* 37:353-357. doi: 10.2165/00007256-200737040-00020.
- Chycki J, Golas A, Halz M, Maszczyk A, Toborek M, Zajac A. 2018. Chronic ingestion of sodium and potassium bicarbonate, with potassium, magnesium and calcium citrate improves anaerobic performance in elite soccer players. *Nutrients.* 10(11):1610. doi: 10.3390/nu10111610.
- Chodkowski J. 2024. The role of nutrition and hydration in injury prevention and recovery: A review. *Journal of Education, Health and Sport.* 71:56117-56117. doi: 10.12775/JEHS.2024.71.56117.
- Cockerill G, Reed S. 2012. Essential Fluid, Electrolyte and pH Homeostasis.
- Costa F, Baeta M, Saraiva D, Castilho M, Verissimo M, Ramos F. 2013. Lycopene in tomato fruits and its content variation during the ripening process after harvest. Di dalam: Tomatoes cultivation, varieties and nutrition (hlm 233-252). New York: Nova Science Publishers.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- D'Angelo S, Rosa R. 2020. Oxidative stress and sport performance. *Sport Science*. 13(1):18-22.
- da Fonseca RX, Gomes da Cruz CJ, Soares EDMKV, Garcia GL, Porto LGG, Molina GE. 2024. Post-exercise heart rate recovery and its speed are associated with resting-reactivity cardiovagal modulation in healthy women. *Scientific Reports*. 14(1):5526.
- Daud SMM, Sukri NM, Johari MH, Gnanou J, Manaf FA. 2023. Pure juice supplementation: its effect on muscle recovery and sports performance. *Malays J Med Sci: MJMS*. 30(1):31-48. doi: 10.21315/mjms2023.30.1.4.
- Dawid J. 2016. The role of tomato products for human health (*Solanum lycopersicum*)-A review. *J Med Nurs Public Health*. 33:66-74.
- de Lima Tavares Toscano L, Silva AS, de França ACL, de Sousa BRV, de Almeida Filho EJB, da Silveira Costa M, Marques ATB, da Silva DF, de Farias Sena K, Cerqueira GS, *et al.* 2020. A single dose of purple grape juice improves physical performance and antioxidant activity in runners: a randomized, crossover, double-blind, placebo study. *Eur. J. Nutr.* 59(7):2997–3007. doi:10.1007/s00394-019-02139-6.
- de Melo-Marins D, Souza-Silva AA, da Silva-Santos GLL, Freire-Júnior FA, Lee JKW, Laitano O. 2018. Personalized hydration strategy attenuates the rise in heart rate and in skin temperature without altering cycling capacity in the heat. *Frontiers in Nutrition*. 5:22. doi: 10.3389/fnut.2018.00022.
- Dwianggimawati MS, Rahayu VF, Rahmawati D. 2025. The effect of giving a combination of tomato juice and virgin coconut oil on total cholesterol and LDL levels. *STRADA Jurnal Ilmiah Kesehatan*. 14(1):132-140.
- Egan B. 2016. Protein intake for athletes and active adults: Current concepts and controversies. *Nutrition Bulletin*. 41(3):202-213. doi: 10.1111/nbu.12215.
- El Hosry L, Elias V, Chamoun V, Halawi M, Cayot P, Nehme A, Bou-Maroun E. 2025. Maillard reaction: Mechanism, influencing parameters, advantages, disadvantages, and food industrial applications: A review. *Foods*. 14(11):1881. doi: 10.3390/foods14111881.
- Fadila EN, Kusharto CM, Roosita K. 2019. Intervention of catfish oil enriched with omega-3 improving lipid profiles and oxidative stress markers in elderly. *J Asian Sci Res*. 9(10):151-157.
- Fahmi M, Yunanda F. 2024. Food loss and waste in North Sumatra, Indonesia: Policy recommendations. *Jurnal Industri dan Inovasi (INVASI)*. 2(1):36–45.
- Fatima F, Waheed S, Asifullah MA, Hassan T, Samo NH, Zamurd B. 2024. Nutritional strategies for optimizing performance in endurance sports: A case study of marathon runners. *Int J Biochem Res Rev*. 33(6):365–378. doi: 10.9734/ijbcrr/2024/v33i6919.
- Fauza A, Astuti W. 2022. Hydration In Athletes: A Literature Review. *J Appl Food Nutr*. 2(1):25-33.
- Ferreira SV, Gardy S, Churchward-Venne TA, Josse AR, Gibbs JC. 2025. Effects of endurance exercise and dietary protein intake on osteokine, bone turnover,

and inflammatory markers in endurance runners: A narrative review. *Bone Reports*. 25:101850. doi: 10.1016/j.bonr.2025.101850.

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. Food waste | Technical Platform on the Measurement and Reduction of Food Loss and Waste. [diakses 2025 Mei 28]. Tersedia dari: <http://www.fao.org/platform-food-loss-waste/food-waste/definition/en/>.

Gandasari MF. 2023. Dampak kehilangan cairan terhadap aktivitas lari 5 putaran sebelum dan sesudah dehidrasi. *Journal of SPORT (Sport, Physical Education, Organization, Recreation, and Training)*. 7(3):661-672.

Georgescu VP, de Souza Junior TP, Behrens C, Barros MP, Bueno CA, Utter AC, McAnulty SR. 2017. Effect of exercise-induced dehydration on circulatory markers of oxidative damage and antioxidant capacity. *Appl Physiol Nutr Metab*. 42(7):694-699. doi: 10.1139/apnm-2016-0701.

Gholami F, Antonio J, Evans C, Cheraghi K, Rahmani L, Amirnezhad F. 2021. Tomato powder is more effective than lycopene to alleviate exercise-induced lipid peroxidation in well-trained male athletes: randomized, double-blinded cross-over study. *J Int Soc Sports Nutr*. 18(1):17. doi: 10.1186/s12970-021-00415-7.

Ghosh J, Chatterjee S, Shathi MA. 2025. Endurance sports and its related nutritional requirements. Di dalam *Examining physiology, nutrition, and body composition in sport science*. (hlm 32). Medical Info Science Reference.

Godek SF, Bartolozzi AR, Peduzzi C, Heinerichs S, Garvin E, Sugarman E, Burkholder R. 2010. Fluid consumption and sweating in National Football League and collegiate football players with different access to fluids during practice. *J Athl Train*. 45(2):128–135. doi: 10.4085/1062-6050-45.2.128.

Górecka D, Wawrzyniak A, Jędrusek-Golińska A, Dziedzic K, Hamułka J, Kowalczewski PŁ, Walkowiak J. 2020. Lycopene in tomatoes and tomato products. *Open chemistry*. 18(1):752-756. doi: 10.1515/chem-2020-0050.

He F, Li J, Liu Z, Chuang CC, Yang W, Zuo L. 2016. Redox Mechanism of Reactive Oxygen Species in Exercise. *Frontiers in physiology*. 7:486. doi: 10.3389/fphys.2016.00486.

Honest KN, Zhang HW, Zhang L. 2011. Lycopene: Isomerization effects on bioavailability and bioactivity properties. *Food Rev Int*. 27(3):248-258.

Ihsan F, Nasrulloh A, Kozina Z, Hidayat RA, Perdana S, Sukendro S. 2024. Nutritional strategies for rapid recovery in sport: A literature review. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*. (57):153-164. doi: 10.47197/retos.v57.105622

Imran M, Ghorat F, Ul-Haq I, Ur-Rehman H, Aslam F, Heydari M, Shariati MA, Okuskhanova E, Yessimbekov Z, Thiruvengadam M, Hashempur MH, Rebezov M. 2020. Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders. *Antioxidants*. 9(8):706. doi: 10.3390/antiox9080706.

- Jeukendrup AE. 2003. High-carbohydrate versus high-fat diets in endurance sports. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*. 51(1):17-24.
- Judge LW, Bellar DM, Popp JK, Craig BW, Schoeff MA, Hoover DL, Fox B, Kistler BM, Al-Nawaiseh AM. 2021. Hydration to Maximize Performance and Recovery: Knowledge, Attitudes, and Behaviors Among Collegiate Track and Field Throwers. *J Hum Kinet*. 79:111–122. doi: 10.2478/hukin-2021-0065.
- Juvonen KR, Purhonen AK, Salmenkallio-Marttila M, Lähteenmäki L, Laaksonen DE, Herzig KH, Uusitupa MI, Poutanen KS, Karhunen LJ. 2009. Viscosity of oat bran-enriched beverages influences gastrointestinal hormonal responses in healthy humans. *J Nutr*. 139(3):461-466. doi: 10.3945/jn.108.099945.
- Kakutani Y, Aikawa Y, Ezawa I, Omi N. 2011. The effects of lycopene intake and exercise on bone health in young female rats. *J Int Soc Sport Nutr*. 8:1-1. doi: 10.1186/1550-2783-8-S1-P30.
- Keefe MS, Benjamin CL, Casa DJ, Sekiguchi Y. 2024. Importance of Electrolytes in Exercise Performance and Assessment Methodology After Heat Training: A Narrative Review. *Applied Sciences*. 14(22):10103. doi: 10.3390/app142210103.
- Kellmann M, Bertollo M, Bosquet L, Brink M, Coutts AJ, Duffield R, Erlacher D, Halson SL, Hecksteden A, Heidari J, Kallus KW, Meeusen R, Mujika I, Robazza C, Skorski S, Venter R, Beckmann J. 2018. Recovery and performance in sport: Consensus statement. *Int J Sport Physiol Perform*. 13(2):240-245. doi: 10.1123/ijsp.2017-0759.
- [KEMENKES] Kementerian Kesehatan, RI. 2021. Panduan Pendampingan Gizi pada Atlet. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- [KEMENKES] 2018. Tabel Komposisi Pangan Indonesia 2017. Kementerian Kesehatan RI Direktorat Jenderal Kesehatan Masyarakat.
- Knežević I, Tapavički B, Vukosavljević V, Maletin N, Ivanov D, Vuletić M, Burić D, Barak O. 2025. The effect of cold water intake on heart rate variability in young women: The co-activation of the sympathetic and parasympathetic branches of the autonomic nervous system. *Frontiers in Physiology*. 16:1627110. doi: 10.3389/fphys.2025.1627110.
- Kozjek NR, Tonin G, Gleeson M. 2025. Nutrition for optimising immune function and recovery from injury in sports. *Clinical nutrition ESPEN*. 66:101-114. doi: 10.1016/j.clnesp.2025.01.031.
- Kulawik A, Cielecka-Piontek J, Czerny B, Kamiński A, Zalewski P. 2024. The Relationship Between Lycopene and Metabolic Diseases. *Nutrients*. 16(21):3708. doi: 10.3390/nu162103708.
- Kustiyah L, Dewi M, Damayanthi E, Dwiriani CM, Alamsah D. 2019. Lipid profile improvement of overweight-obese adults after high antioxidant tomato and rice bran drinks intervention. *Indian J Public Health Res Dev*. 10(6):551.

- Lanthers C, Pereira B, Naughton G, et al. 2020. Impact of hydration status on jump performance in recreationally trained males. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2:37. doi: 10.3389/fsals.2020.00037.
- Laza V. 2014. Tomatoes and lycopene in the athletes' diet. 15(1):72–79.
- Leh HE, Lee LK. 2022. Lycopene: A Potent Antioxidant for the Amelioration of Type II Diabetes Mellitus. *Molecules*. 27(7):2335. doi:10.3390/molecules27072335.
- Li H, Early KS, Zhang G, Ma P, Wang H. 2024. Personalized hydration strategy to improve fluid balance and intermittent exercise performance in the heat. *Nutrients*. 16. doi: 10.3390/nu16091341.
- Li J, Di T, Bai J. 2019. Distribution of volatile compounds in different fruit structures in four tomato cultivars. *Molecules*. 24(14):2594. doi: 10.3390/molecules24142594.
- Lukaski HC, Piccoli A. 2012. Bioelectrical impedance vector analysis: Emerging technology for clinical nutrition and sports medicine. *Nutrition*. 28(2):170–176. doi: 10.1016/j.nut.2011.05.003.
- Luna MP, Aguilera JM. 2014. Kinetics of colour development of molten glucose, fructose and sucrose at high temperatures. *Food Biophysics*. 9(1):61–68.
- Ly NQ, Hamstra-Wright KL, Horswill CA. 2023. Post-Exercise Rehydration in Athletes: Effects of Sodium and Carbohydrate in Commercial Hydration Beverages. *Nutrients*. 15(22):4759. doi: 10.3390/nu15224759.
- Mahendra A. 2023. An overview on electrolytes: Its importance, function, and imbalances. *Clin Nutr Hosp Diet*. 43(1):01–02.
- Manning CN, Morrissey MC, Langan SP, Stearns RL, Huggins RA, Curtis RM, Sekiguchi Y, Laxminarayan S, Reifman J, Casa DJ. 2023. Fluid replacement strategies and heart rate variability recovery following prolonged exercise in the heat and mild dehydration. *Physiologia*. 3(1):98–112. doi: 10.3390/physiologia3010008.
- Mata F, Valenzuela PL, Gimenez J, Tur C, Ferreria D, Domínguez R, Sanchez-Oliver AJ, Martínez Sanz JM. 2019. Carbohydrate Availability and Physical Performance: Physiological Overview and Practical Recommendations. *Nutrients*. 11(5):1084. doi:10.3390/nu11051084.
- Maughan RJ. 2000. Water and electrolyte loss and replacement in exercise. *Nutrition in sport*. 226–240. doi: 10.1002/9780470693766.ch17.
- Maughan RJ, Shirreffs SM. 2010. Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scand J Med Sci Sports*. 20(Suppl 3):40–47.
- Mawlood MS. 2025. The potential effects of high protein diet on renal function in body builders in Erbil city. *Clin Nutr Open Sci*. doi: 10.1016/j.nutos.2025.11.001.
- McCubbin AJ. 2025. Sodium intake for athletes before, during and after exercise: Review and recommendations. *Performance Nutrition*. 1(1):11.

- Ménard O, Famelart MH, Deglaire A, Le Gouar Y, Guérin S, Malbert CH, Dupont D. 2018. Gastric emptying and dynamic in vitro digestion of drinkable yogurts: Effect of viscosity and composition. *Nutrients*. 10(9):1308. doi: 10.3390/nu10091308.
- Ministry of Public Health Thailand. 2000. Notification of the Ministry of Public Health (No. 195) B.E. 2543 (2000) Re: Electrolyte Drinks (Unofficial translation). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://faolex.fao.org/docs/pdf/tha160178.pdf>.
- Moir HJ, Maciejczyk M, Maciejczyk M, Aidar FJ, Arazi H. 2023. Exercise-induced oxidative stress and the role of antioxidants in sport and exercise. *Frontiers in Sports and Active Living*. 5:1269826. doi: 10.3389/fspor.2023.1269826.
- Mountain SJ, Cheuvront SN, Carter R, Sawka MN. 2006. Human water and electrolyte balance. Present Knowledge in Nutrition. BA Bowman and RM Russell Eds., Washington, DC, ILSI Life Sciences, 422-429.
- Muth ND. 2015. Sports nutrition for health professionals. United States: FA Davis Company.
- Naderi A, Gobbi N, Ali A, Berjisian E, Hamidvand A, Forbes SC, Koozehchian MS, Karayigit R, Saunders B. 2023. Carbohydrates and endurance exercise: A narrative review of a food first approach. *Nutrients*. 15(6):1367. doi: 10.3390/nu15061367.
- Naderi A, Rothschild JA, Santos HO, Hamidvand A, Koozehchian MS, Ghazzagh A, Podlogar T. 2025. Nutritional strategies to improve post-exercise recovery and subsequent exercise performance: A narrative review. *Sports Medicine*. 55(7):1559-1577. doi: 10.1007/s40279-025-02213-6.
- Nielsen HG, Hagberg IA, Lyberg T. 2004. Marathon running leads to partial exhaustion of ROS-generating capacity in leukocytes. *Med Sci Sport Exerc*. 36(1):68-73. doi: 10.1249/01.MSS.0000106168.12113.95.
- Nieman DC, Capps CL, Capps CR, Shue ZL, McBride JE. 2018. Effect of 4-week ingestion of tomato-based carotenoids on exercise-induced inflammation, muscle damage, and oxidative stress in endurance runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 28(3):266–273. doi: 10.1123/ijsnem.2017-0349
- O'Connor RE. 2006. Exercise-induced hyponatremia: causes, risks, prevention, and management. *Cleve Clin J Med*. 73:S13. doi: 10.3949/ccjm.73.suppl_3.s13.
- Paik IY, Jeong MH, Jin HE, Kim YI, Suh AR, Cho SY, Roh HT, Jin CH, Suh SH. 2009. Fluid replacement following dehydration reduces oxidative stress during recovery. *Biochem Biophys Res Commun*. 383(1):103–107. doi: 10.1016/j.bbrc.2009.03.135.
- [PerBPOM] Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 13 Tahun 2023 tentang Kategori Pangan. 2023.
- [PerBPOM] Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 24 Tahun 2019 tentang Perubahan atas Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 1 Tahun 2018 tentang Pengawasan Pangan Olahan untuk Keperluan Gizi Khusus. 2019.

Pico-Muñoz R, Laguna L, Tárrega A. 2023. Thirstiness, body hydration and thickened water: A study about their relationship. *Food Qual Prefer.* 111:104988.

Purnomo E, Dapan. 2017. *Dasar-Dasar Gerak Atletik*. Yogyakarta: Alfabedia.

Poortmans JR. 1984. Exercise and renal function. *Sports Medicine.* 1(2):125-153. doi: 10.2165/00007256-198401020-00003.

Porto AA, Benjamim CJR, da Silva Sobrinho AC, et al. 2023. Influence of fluid ingestion on heart rate, cardiac autonomic modulation, and blood pressure in response to physical exercise: A systematic review with meta-analysis. *Nutrients.* 15(21):4534. doi: 10.3390/nu15214534.

Qiu J, Vuist JE, Boom RM, Schutyser MA. 2018. Formation and degradation kinetics of organic acids during heating and drying of concentrated tomato juice. *LWT.* 87:112-121. doi: 10.1016/j.lwt.2017.08.081.

Ribeiro D, Freitas M, Silva AMS, Carvalho F, Fernandes E. 2018. Antioxidant and pro-oxidant activities of carotenoids and their oxidation products. *Food Chem. Toxicol.* 120:681–699. doi:10.1016/j.fct.2018.07.060.

Robayo S, Kucab M, Walker SE, Suitor K, D'Aversa K, Morello O, Bellissimo N. 2024. Effect of 100% Orange Juice and a Volume-Matched Sugar-Sweetened Drink on Subjective Appetite, Food Intake, and Glycemic Response in Adults. *Nutrients.* 16(2):242. doi:10.3390/nu16020242.

Rogulski M, Patarocha Y, Ślusarska A, Mędyk J, Błasiak P, Wirkijowska M, Mikołajec P, Huk R, Bilecka B, Wirkijowski J. 2025. Electrolyte disorders in athletes. *Quality in Sport. Online.* 10 Januari 2025. Vol. 37:57197. [Diakses 8 September 2025]. doi: 10.12775/QS.2025.37.57197.

Roman S, Sánchez-Siles LM, Siegrist M. 2017. The importance of food naturalness for consumers: Results of a systematic review. *Trends Food Sci Technol.* 67:44-57. doi: 10.1016/j.tifs.2017.06.010.

Ross AB, Vuong LT, Ruckle J, Synal HA, Schulze-König T, Wertz K, Rumbeli R, Liberman RG, Skipper PL, Tannenbaum SR, Bourgeois A, Guy PA, Enslin M, Nielsen ILF, Kochhar S, Richelle M, Fay LB, Williamson G. 2011. Lycopene bioavailability and metabolism in humans: An accelerator mass spectrometry study. *Am J Clin Nutr.* 93(6):1263-1273. doi: 10.3945/ajcn.110.008375.

Santini A, Graziani G, Ritieni A. 2013. Nutraceuticals recovery from tomato processing waste and by-products: Lycopene. Di dalam: T. Higashide, Tomatoes cultivation, varieties and nutrition (hlm 314-322). New York: Nova Science Publishers.

Schek A, Braun H, Carlsohn A, Großhauser M, König D, Lampen A, Mosler S, Nieß A, Oberitter H, Schäbenthal K, Stehle P, Virmani K, Ziegenhagen R, Heseker H. 2020. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE): Fats, fat loading, and sports performance. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 71:199-207. doi: 10.5960/dzsm.2020.448.

- Severi S, Cavalcanti S, Mancini E, Santoro A. 2002. Effect of electrolyte and pH changes on the sinus node pacemaking in humans. *J Electrocardiol.* 35(2):115-124. doi: 10.1054/jelc.2002.31819.
- Shafe MO, Gumede NM, Nyakudya TT, Chivandi E. 2024. Lycopene: A Potent Antioxidant with Multiple Health Benefits. *J Nutr Metab.* 2024:6252426. doi: 10.1155/2024/6252426.
- Shrimanker I, Bhattarai S. 2025. Electrolytes. [Diperbarui 2023 Jul 24]. Di dalam: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Tersedia dari: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541123/>.
- Silva AM, Fields DA, Heymsfield SB, Sardinha LB. 2021. Body composition and power changes in elite judo athletes. *Int J Sport Med.* 42(4):331–338. doi: 10.1055/a-1302-3034.
- So S, Uriyapongson S, Uriyapongson J. 2020. Effects of dried tomato waste powder levels on lycopene content, lipid oxidation, color, antioxidant activity, and sensory properties of frankfurter sausage made from Thai native beef. *Songklanakarin J Sci Technol.* 42(1):27-34.
- Srivastav Y, Hameed A, Srivastav A. 2024. Rudimentary Overview: Dehydration (Loss of Body Water) Recognition and Management. *Int J Altern Complement Med.* 7-11. doi: 10.46797/ijacm.v5i1.585.
- Srivastava S, Kulshreshtha K. 2013. Nutritional content and significance of tomato powder. *Ann Arid Zone.* 52(2):121-124.
- Suarez M, Rodriguez E, Romero C. 2013. The chemical composition and nutritional value of tomatoes. Di dalam: T. Higashide, Tomatoes cultivation, varieties and nutrition (hlm 191-212). New York: Nova Science Publisher.
- Sulistyowati S, Nurchayati Y, Setiari N. 2021. Pertumbuhan dan produksi tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) varietas Servo pada frekuensi penyiraman yang berbeda. *Buletin Anatomi dan Fisiologi.* 6(1):26-34.
- Sun JC, Huang XL, Deng XR, Lv XF, Lu JL, Chen YH, Bi YF, Wang WQ, Xu M, Ning G. 2014. Elevated resting heart rate is associated with dyslipidemia in middle-aged and elderly Chinese. *Biomed Environ Sci.* 27(8):601-605. doi: 10.3967/bes2014.092.
- Tambalis KD. 2022. The effect of electrolytes and energy drinks consumption on athletic performance—a narrative review. *Eur J Fitness Nutr Sport Med.* 3(1). doi: 10.46827/ejfnsm.v3i1.127.
- [TWH] The White House. 2024. National strategy for reducing food loss and waste and recycling organics. [diakses 2025 Mei 28]. Tersedia dari: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/06/12/national-strategy-for-reducing-food-loss-and-waste-and-recycling-organics/>.
- Topolska K, Florkiewicz A, Filipiak-Florkiewicz A. 2021. Functional Food—Consumer Motivations and Expectations. *Int J Environ Res Public Health.* 18(10):5327. doi: 10.3390/ijerph18105327.

- Üstündaş M, Yener HB, Helvacı ŞŞ. 2018. Parameters affecting lycopene extraction from tomato powder and its antioxidant activity. *Anadolu Univ J of Sci and Technology A – Appl Sci and Eng.* 19(2):454-467.
- Veniamakis E, Kaplanis G, Voulgaris P, Nikolaidis PT. 2022. Effects of Sodium Intake on Health and Performance in Endurance and Ultra-Endurance Sports. *Int J Environ Res Public Health.* 19(6):3651. doi: 10.3390/ijerph190603651.
- Vianna LC, Oliveira RB, Silva BM, Ricardo DR, Araújo CG. 2008. Water intake accelerates post-exercise cardiac vagal reactivation in humans. *Eur J Appl Physiol.* 102(3):283-288. doi: 10.1007/s00421-007-0584-7.
- Volterman K, Moore D. 2014. Hydration for optimal health and performance in athletes. *Agro Food Industry Hi Tech.* 25(2):4-7.
- Wahyurini E, Suryawati A. 2021. *Budidaya dan Keragaman Genetik Tomat.* Yogyakarta: LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Wang F, Wang X, Liu Y, Zhang Z. 2021. Effects of Exercise-Induced ROS on the Pathophysiological Functions of Skeletal Muscle. *Oxid Med Cell Longev.* 2021:3846122. doi: 10.1155/2021/3846122.
- Watso JC, Farquhar WB. 2019. Hydration status and cardiovascular function. *Nutrients.* 11(8):1866. doi: 10.3390/nu11081866.
- Willis L. 2019. *Fluids & Electrolytes Made Incredibly Easy!* Ed ke-7th. LWW.
- Witard OC, Hearnis M, Morgan PT. 2025. Protein nutrition for endurance athletes: A metabolic focus on promoting recovery and training adaptation. *Sports Medicine.* 55(6):1361-1376. doi: 10.1007/s40279-025-02203-8.
- Żołądkiewicz K. 2019. The effects of long lasting physical exercise and training on kidneys functions. *Quality in Sport.* 5(1):24-31.
- Zhang J, Liu S, Zhu X, Chang Y, Wang C, Ma N, Wang J, Zhang X, Lyu J, Xie J. 2023. A comprehensive evaluation of tomato fruit quality and identification of volatile compounds. *Plants.* 12(16):2947. doi: 10.3390/plants12162947.
- Zhang Q, Zheng J, Qiu J, Wu X, Xu Y, Sun M. 2017. Evaluation of the antioxidant effects of lycopene supplementation in athletes by high performance liquid chromatography. *Medicina dello Sport.* 70:495-502. doi: 10.23736/S0025-7826.17.03056-3.
- Zhao J, Xu Y, Ding Q, Huang X, Zhang Y, Zou Z, Li M, Cui L, Zhang J. 2016. Association mapping of main tomato fruit sugars and organic acids. *Frontiers in Plant Science.* 7:1286. doi: 10.3389/fpls.2016.01286.