

Prinsip Termodinamika Dalam Pengembangan Teknologi Cryotherapy Untuk Pengobatan Cedera: Studi Literatur

Thermodynamic Principles in the Development of Cryotherapy Technology for Injury Treatment: Literature Study

Airi Rizki Syahputri^{1*}, Dania Priskilla Hura², Rahel Novita Simanihuruk³, Rajo Hasim Lubis⁴

¹Universitas Negeri Medan

*Corresponding Author: arizkisyahputri@gmail.com

Kata Kunci

Cryotherapy
Termodinamika
Cedera

ABSTRAK

Cryotherapy merupakan teknologi medis yang semakin berkembang, terutama dalam penanganan cedera akut dan peradangan pada atlet. Penelitian ini mengeksplorasi prinsip termodinamika dalam cryotherapy, khususnya proses perpindahan panas dan efektivitasnya dalam pemulihan cedera. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan menganalisis 21 jurnal peer-review dari Google Scholar menggunakan kata kunci seperti "cryotherapy AND thermodynamics AND athlete injury". Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode cool water immersion efektif mengurangi nyeri dan inflamasi melalui mekanisme vasokonstriksi, vasodilatasi, dan penghambatan konduksi saraf sensorik. Inovasi seperti sensor suhu otomatis dan kombinasi dengan terapi kompresi udara meningkatkan efisiensinya. Studi Smith et al. [12] membuktikan bahwa cryotherapy selama 20 menit setelah aktivitas intens dapat mengurangi inflamasi dan mempercepat pemulihan otot. Implikasinya, cryotherapy tidak hanya mengurangi nyeri dan pembengkakan tetapi juga meningkatkan performa atlet melalui regenerasi jaringan yang lebih cepat. Secara keseluruhan, cryotherapy terbukti sebagai metode pemulihan yang efisien untuk cedera olahraga jika diterapkan dengan prosedur yang tepat. Dengan memahami prinsip termodinamika, pengembangan teknik cryotherapy dapat semakin dioptimalkan untuk manfaat yang lebih besar.

Keywords

Cryotherapy
Thermodynamics
Injury

©2025 The Author
p-ISSN 2338-3240
e-ISSN 2580-5924

ABSTRACT

Cryotherapy is a rapidly advancing medical technology, particularly in the treatment of acute injuries and inflammation in athletes. This study explores the thermodynamic principles involved in cryotherapy, focusing on heat transfer mechanisms and its effectiveness in injury recovery. The research method used was a literature review, analyzing 21 peer-reviewed journals sourced from Google Scholar using keywords such as "cryotherapy AND thermodynamics AND athlete injury". The findings indicate that cool water immersion is highly effective in reducing pain and inflammation through vasoconstriction, vasodilation, and the inhibition of sensory nerve conduction. Innovations like automated temperature sensors and combination therapies with pneumatic compression further enhance its efficiency. A study by Smith et al. [12] demonstrated that applying cryotherapy for 20 minutes after intense physical activity significantly reduces inflammation and accelerates muscle recovery. The implications suggest that cryotherapy not only alleviates pain and swelling but also improves athletic performance by speeding up tissue regeneration. Overall, cryotherapy proves to be an efficient recovery method for sports injuries when applied correctly. By understanding thermodynamic principles, cryotherapy techniques can be further optimized for greater therapeutic benefits.

Received 18/03/2025; Revised 04/06/2025; Accepted 12/06/2025; Available Online 31/08/2025

How to cite: Syahputri, A. R., Hura, D. P., Simanihuruk, R. N., & Lubis, R. H. (2025). Prinsip Termodinamika Dalam Pengembangan Teknologi Cryotherapy untuk Pengobatan Cedera: Studi Literatur. *JPFT: Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online*, 13(2), 125–137.

PENDAHULUAN

Kemajuan global dalam industri memotivasi setiap individu untuk secara proaktif meningkatkan kinerja mereka sambil memprioritaskan kesehatan. Setiap orang harus secara konsisten bertujuan untuk tumbuh dan berkembang, baik secara fisik maupun mental, agar dapat bersaing dengan sukses di tingkat internasional. Di sinilah kesehatan menjadi krusial dalam kehidupan manusia, karena semua aktivitas dapat dilakukan secara efisien dan efektif ketika individu menjaga kesehatan yang baik. Meskipun demikian, penting untuk menyadari pentingnya penampilan, yang meningkatkan daya tarik seseorang dan meningkatkan harga diri mereka. Dengan penampilan yang segar dan tubuh yang sehat, individu memiliki aset mendasar yang diperlukan untuk meningkatkan kepercayaan diri dan membuka potensi mereka.

Cedera olahraga didefinisikan sebagai cedera yang terjadi pada tubuh saat seseorang berolahraga atau saat melakukan latihan fisik tertentu. Seorang atlet yang mendapatkan latihan fisik terus menerus akan memerlukan waktu untuk proses pemulihannya. Ada kalanya proses ini mengalami kegagalan, karena ternyata memerlukan waktu yang lebih lama karena suatu sebab. Bila hal ini tidak ditangani dengan baik akan menyebabkan penurunan performa atlet (Setyaningrum, 2019). Cedera olahraga dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu cedera akut dan traumatis yang terjadi sebagai akibat dari benturan atau peristiwa traumatis tertentu dan cedera kronis atau berlebihan yang diakibatkan oleh keausan pada tubuh dan terjadi dalam jangka waktu yang lama. Berdasarkan jaringan yang terkena, cedera olahraga di klasifikasikan menjadi cedera jaringan keras dan cedera jaringan lunak. Cedera jaringan keras merupakan cedera yang terjadi pada tulang dan sendi. Cedera tersebut dapat berupa patah tulang atau lepas sendi baik sebagian maupun total. Sedangkan cedera jaringan lunak dapat terjadi pada kulit, otot, tendon, dan ligamen. Cedera pada otot dan tendon disebut strain sedangkan cedera pada ligamen disebut sprain.

Dalam hal kesehatan dan kinerja fisik, cryotherapy menonjol sebagai salah satu teknologi medis yang berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir, khususnya untuk menangani cedera akut dan peradangan. Teknologi ini beroperasi berdasarkan prinsip pendinginan jaringan tubuh untuk meredakan nyeri, mengurangi peradangan, dan mempercepat proses pemulihan. Secara ilmiah, cryotherapy menggunakan prinsip termodinamika seperti konduksi, konveksi, dan penguapan dalam perpindahan panas untuk menurunkan suhu jaringan secara efisien. Di bidang olahraga dan rehabilitasi medis, krioterapi umumnya digunakan dalam berbagai bentuk, termasuk kompres es, ruang cryotherapy, dan terapi perendaman udara dingin.

Perkembangan teknologi dalam bidang medis, khususnya cryotherapy, telah mengalami transformasi yang signifikan. Tidak lagi hanya bergantung pada metode konvensional seperti kompres es atau ruang pendingin, kini inovasi alat berbasis kontrol suhu presisi semakin mendominasi. Misalnya, dalam penelitian yang dilakukan oleh Perdana (2018), sebuah perangkat terapi panas-dingin dirancang dengan sistem PID untuk mempercepat pemulihan otot. Selain itu, Setyaningrum, (2019) mengembangkan terapi elektrik yang menggabungkan elemen panas dan dingin dalam satu perangkat. Inovasi-inovasi ini tidak hanya memperlihatkan penerapan prinsip-prinsip termodinamika, tetapi juga menunjukkan bagaimana integrasi rekayasa teknologi dapat meningkatkan efektivitas dan keamanan cryotherapy, terutama dalam penanganan cedera olahraga.

Metode cryotherapy “cool water immersion” dinilai efektif sebagai metode pemulihan pasca kegiatan olahraga, karena efek daripada metode ini dapat dirasakan oleh tubuh secara langsung, dengan melakukan pencelupan, tubuh bagian bawah yang dicelupkan terlebih dahulu

akan menerima tekanan dari air dari bagian paling bawah hingga ke bagian atas, inilah yang dinamakan prinsip hydromassage. Sehingga dengan adanya tekanan dari air, darah kotor hasil kegiatan oksidasi yang beredar keseluruh tubuh dengan kandungan asam laktat akan dikembalikan ke bagian jantung untuk kemudian diproses menjadi darah bersih kembali. Hal ini karena berendam dalam air dingin akan menimbulkan terjadinya vasokonstriksi pada pembuluh darah yang dapat memperlambat penyebaran darah keseluruh tubuh sehingga pemulihan denyut nadi dapat terkontrol (Rifan, 2024), (Cendekia Muda, 2022).

Cryotherapy adalah terapi lain yang didasarkan pada termodinamika. Teknik ini melibatkan penggunaan suhu rendah untuk menghancurkan jaringan yang tidak diinginkan, seperti tumor atau sel kulit yang abnormal. Proses ini memanfaatkan perpindahan panas dari jaringan tubuh ke medium pendingin. Cryotherapy bekerja berdasarkan hukum pertama dan kedua termodinamika:

Hukum Pertama Termodinamika: Energi panas berpindah dari tubuh ke media pendingin. Dalam cryotherapy, panas dari jaringan tubuh berpindah ke kantong es, nitrogen cair, atau alat pendingin lainnya. Penelitian menunjukkan bahwa perbedaan suhu yang lebih besar mempercepat perpindahan panas dan mempercepat penurunan suhu jaringan (Yusuf, 2021).

Hukum Kedua Termodinamika: Menjelaskan bahwa perpindahan panas terjadi dari area yang lebih panas ke yang lebih dingin, sampai tercapai keseimbangan termal. Dalam penelitian oleh Elfahem et al., (2024) ditemukan bahwa posisi individu dalam ruang cryotherapy seluruh tubuh dapat mempengaruhi distribusi panas dan efektivitas terapi.

Cryotherapy menghasilkan berbagai respons fisiologis, di antaranya:

1. Vasokonstriksi dan Vasodilatasi yaitu Penurunan suhu jaringan menyebabkan vasokonstriksi, yang membantu mengurangi aliran darah ke area cedera dan menghambat inflamasi. Setelah cryotherapy dihentikan, terjadi vasodilatasi kompensasi, yang memungkinkan peningkatan aliran darah dan percepatan pemulihan (Rahma & Utami, 2022).
2. Efek Cryotherapy terhadap Sistem Saraf, Cryotherapy menghambat konduksi saraf sensorik, sehingga mengurangi sensasi nyeri. Studi oleh Nurhasana & Pratama (2022) menunjukkan bahwa suhu jaringan yang turun hingga 15°C cukup untuk menghambat transmisi sinyal nyeri secara signifikan. Penemuan ilmiah ini mendorong inovasi dalam perangkat cryotherapy:
 - a. Cryotherapy dengan Sensor Suhu Otomatis: Perangkat modern kini memiliki sensor suhu otomatis untuk menyesuaikan durasi dan intensitas pendinginan sesuai dengan respons tubuh pasien.
 - b. Cryotherapy dengan Kompresi Udara: Studi menunjukkan bahwa kombinasi cryotherapy dengan terapi kompresi udara lebih efektif dibandingkan cryotherapy konvensional.

a. Indikasi cryotherapy

Ada beberapa indikasi mengenai penggunaan pemulihan cryotherapy yang dimana pemulihan ini sangat baik digunakan pada saat keadaan-keadaan tertentu jika diluar dari indikasi ini sebaiknya tidak digunakan. Adapun indikasi cryotherapy telah dikemukakan oleh Arofah (2024) dalam bukunya yang berjudul fisioterapi olahraga:

“Beberapa kondisi yang dapat ditangani dengan cryotherapy antara lain:

1. Cedera (sprain, strain, dan kontusio)
2. Sakit kepala (migran, tension headache dan cluster headache)

3. Gangguan temporomandibular (TM) disorder
4. Nyeri postoperasi
5. Fase akut artritis (peradangan pada sendi)
6. Tendinitis dan bursitis
7. Carpal tunnel syndrome
8. Nyeri lutut
9. Nyeri sendi
10. Nyeri abdomen

Untuk menggunakan metode pemulihan cryotherapy harus ditandai beberapa gejala, seperti rasa nyeri, sakit kepala atau adanya perubahan bentuk, warna dan suhu tubuh yang menandakan adanya peradangan pada sendi. Bilamana tidak ada tanda-tanda kerusakan jaringan sebaiknya tidak perlu melakukan pemulihan cryotherapy.

b. Kontraindikasi cryotherapy

Cryotherapy mempunyai beberapa kontraindikasi yang memang tidak disarankan untuk menggunakan pemulihan ini, jika tetap menggunakan pemulihan ini maka akan menyebabkan dampak yang lebih buruk yang akan dialami oleh atlet yang membutuhkan pemulihan. Cryotherapy sangat mudah digunakan, cepat, efisien dan ekonomis akan tetapi, terdapat beberapa kondisi yang dapat dipicu oleh cryotherapy. Individu dengan riwayat gangguan tertentu memerlukan pengawasan yang ketat pada pemulihan dingin. Beberapa kondisi tersebut diantaranya sebagai berikut:

1. Sindrom Raynaud yang merupakan kondisi ketika terdapat hambatan pada arteri terkecil yang mengalirkan darah ke jari tangan dan kaki ketika terjadi dingin atau emosi. Pada kondisi ini timbul sianosis yang jika berlanjut dapat mengakibatkan kerusakan anggota tubuh perifer
2. Vaskulitis (peradangan pembuluh darah)
3. Gangguan sensasi darah, misalnya neuropati akibat diabetes melitus.

Cryoglobulinemia yang merupakan kondisi berkurangnya protein di dalam darah yang menyebabkan darah akan berubah menjadi gel jika terkena dingin. Paroxysmal cold hemoglobinuria yang merupakan pembentukan antibody yang merusak sel darah merah jika tubuh terkena dingin". Selain memiliki manfaat yang baik bagi tubuh, cara pemulihan cryotherapy juga memiliki aturan penggunaannya.

Cryotherapy tidak dapat dilakukan apabila terdapat beberapa kondisi yang tidak memungkinkan seperti saat kondisi fisik lemah, kurang darah, riwayat penyakit diabetes mellitus ataupun peradangan pembuluh darah hal ini terjadi karena menyebabkan darah akan berubah menjadi gel atau mengental jika terkena dingin dan hal ini menjadikan terhambatnya peredaran darah pada tubuh manusia, oleh sebab itu pemulihan cryotherapy terhadap individu dengan riwayat gangguan tertentu memerlukan pengawasan yang ketat pada pemulihan dingin.

c. Jenis Cryotherapy (Ice Baths)

Ice bath merupakan salah satu bagian dari pemulihan cryotherapy yang menggunakan ice dalam bentuk basah (cair) yang menggunakan ice bentuk padat yang dicampurkan dengan air hingga mencapai suhu yang diinginkan. Lalu atlet berendam di dalam air sesuai dengan waktu yang diinginkan. Ice bath merupakan pemulihan mandi di dalam air dingin dalam jangka waktu maksimal 20 menit. Peralatan yang digunakan tergantung bagian tubuh yang akan direndam.

Pada perendaman seluruh tubuh dibutuhkan tangki whirlpool. Pada pemulihan ini air dan es dicampurkan untuk mendapatkan suhu 10°celcius sampai dengan 15°celcius.

d. Resiko Cryotherapy

1. Jika pemulihan dingin dilakukan dalam jangka waktu yang lama hal ini dapat menyebabkan: Hipotermia yang merupakan kondisi suhu tubuh menurun secara cepat dibawah suhu normal sehingga merusak metabolisme tubuh.
2. Eksema kulit dapat terjadi pada pendinginan kulit selama 1 jam pada suhu 0°- 9° C. Eksema dapat bertahan sampai 24 jam.
3. Frostbite merupakan kondisi ketika kulit dan jaringan tubuh rusak akibat suhu dingin. Frostbite dapat terjadi pada suhu -3° hingga -4° C.16 Cryotherapy memiliki aturan waktu dalam proses pemulihan, karena jika pemulihan ini salah dalam penggunaannya atau dalam jangka waktu yang tidak dianjurkan pasti akan menyebabkan resiko- resiko yang menyebabkan suhu tubuh dan kondisi fisik yang menurun, oleh sebab itu hal ini memerlukan pengawasan yang ketat pada saat berlangsungnya pemulihan dingin (Perkasa, 2017).

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi prinsip-prinsip termodinamika dengan temuan eksperimen dari penelitian Smith, dkk., (2021) untuk mengembangkan teknologi cryotherapy yang lebih efektif dalam pengobatan cedera. Studi ini tidak hanya mengandalkan temuan klinis tentang efek cryotherapy terhadap peradangan dan regenerasi otot, tetapi juga menganalisis proses perpindahan panas dan parameter termodinamika (seperti suhu, durasi, dan metode aplikasi) yang memengaruhi efektivitas cryotherapy. Pendekatan ini memberikan perspektif baru dalam memahami bagaimana prinsip fisika, khususnya termodinamika, dapat dioptimalkan untuk meningkatkan hasil terapi. Selain itu, penelitian ini menggabungkan analisis literatur tentang mekanisme molekuler cryotherapy (seperti perubahan kadar sitokin dan ekspresi gen) dengan prinsip termodinamika, menciptakan kerangka kerja interdisipliner yang belum banyak dieksplorasi.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode Studi Literatur (Literature Review) melalui pendekatan Narrative Review yang bertujuan untuk mengkaji, mengevaluasi, dan menyatukan temuan-temuan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan prinsip termodinamika, teknologi cryotherapy, dan penerapannya dalam pengobatan cedera. Peneliti akan meninjau berbagai literatur seperti jurnal ilmiah dan artikel yang relevan, kemudian memilihnya berdasarkan Kriteria: artikel membahas cryotherapy dalam konteks pemulihan cedera/DOMS/nyeri olahraga, artikel dalam bahasa Indonesia atau Inggris, artikel/jurnal/tesis terbit tahun 2007–2024 dan tersedia akses ke informasi bibliografi lengkap sejumlah 21 jurnal.

Tabel 1. Literature Matrix

No.	Penulis (Tahun)	Judul	Jenis Studi	Fokus Utama	Hasil Utama	Tahun
1	Algaflly & George (2007)	Cryotherapy on nerve conduction & pain	Jurnal Internasional	Efek s1neurologis cryo	Meningkatkan ambang nyeri & toleransi	2007
2	Peiffer et al. (2009)	Cold-water immersion	Jurnal Internasional	Pemulihan atlet	CWI meningkatkan	2009

No.	Penulis (Tahun)	Judul	Jenis Studi	Fokus Utama	Hasil Utama	Tahun
3	Costello et al. (2012)	& performance Whole-body cryo & proprioepsi	Jurnal Internasional	Muscle damage & proprioepsi	performa setelah latihan Efek signifikan terhadap otot & koordinasi	2012
4	Bleakley et al. (2014)	Whole-body cryotherapy	Review	Perspektif terapi seluruh tubuh	Terdapat bukti empiris, tapi masih terbatas	2014
5	Perkasa (2017)	Efektivitas Cryotherapy terhadap Pemulihan DOMS	Disertasi	DOMS pada atlet	Cryotherapy efektif mempercepat pemulihan DOMS	2017
6	Andini (2017)	Cryo & pemulihan fisik atlet	Jurnal	Pemulihan umum	Efektif mendukung performa atlet	2017
7	Perdana (2018)	Rancang Bangun Alat Terapi Panas & Dingin	Skripsi	Desain alat terapi	Perangkat bantu efektif mengontrol suhu otot	2018
8	Setyaningrum (2019)	Cedera olahraga & penyakit	Jurnal	Umum tentang cedera olahraga	Menyentuh aspek pencegahan	2019
9	Guillot et al. (2019)	Cryo untuk penyakit reumatik	Review Sistematis	Penyakit inflamasi	Manfaat signifikan tapi butuh studi lanjut	2019
10	Rahman & Utami (2020)	Cryotherapy & aktivitas saraf	Jurnal	Cedera olahraga	Pengurangan nyeri signifikan	2020
11	Santoso & Wijaya (2021)	Rancang Bangun Alat Terapi Elektrik	Jurnal	Alat pemulihan cedera	Alat efektif untuk kombinasi hot-cold	2021
12	Smith et al. (2021)	Cryo & inflamasi	Jurnal	Regenerasi otot	Menurunkan inflamasi, mendukung recovery	2021
13	Dhuhairi et al. (2021)	Cryo pada post-op ACL	Jurnal	Pascaoperasi ACL	Mengurangi nyeri signifikan	2021
14	Wahyudi & Yusuf (2021)	Distribusi temperatur kulit	Jurnal	Model FDM cryo	Validasi metode distribusi suhu	2021
15	Nurhasana & Pratama (2022)	Efektivitas Cryotherapy	Jurnal	Cedera jaringan lunak	Cryo menurunkan nyeri & edema	2022
16	Muda (2022)	Cryo + Kompresi + CWI	Jurnal	Kombinasi terapi	Kombinasi lebih efektif daripada tunggal	2022

No.	Penulis (Tahun)	Judul	Jenis Studi	Fokus Utama	Hasil Utama	Tahun
17	Sastra & Despitasaki (2022)	Cryotherapy untuk fraktur	Jurnal	Nyeri fraktur	Terbukti menurunkan nyeri ekstremitas	2022
18	Rifan (2024)	Cryotherapy pada atlet sepakbola	Jurnal	Kelelahan otot	Mempercepat pemulihan pascalatihan	2024
19	Arofah (2024)	Cold therapy cedera olahraga	Jurnal	Review aplikasi umum	Disarankan untuk cedera ringan-sedang	2024
20	Simatupang et al. (2024)	Isometric exercise meniscus	Case report	Latihan rehabilitasi	Tidak relevan langsung dengan cryo	2024
21	Elfahem et al. (2024)	Heat transfer cryotherapy	Jurnal Internasional	Simulasi termodinamik	Variabilitas individu memengaruhi hasil	2024

Metode pengumpulan data yang digunakan adalah analisis isi (content analysis), di mana peneliti akan menganalisis secara kritis literatur yang telah dipilih. Untuk memastikan keakuratan data, peneliti akan melakukan pengecekan silang antar pustaka dan membaca ulang literatur yang digunakan agar terhindar dari kesalahan informasi. Penelitian ini direncanakan berlangsung selama Februari-Maret 2025, dengan populasi penelitian mencakup semua literatur yang membahas topik terkait, sedangkan sampelnya adalah literatur yang memenuhi kriteria seleksi. Hasil dari studi literatur ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang mendalam tentang topic yang diteliti, mengidentifikasi celah penelitian, serta menjadi landasan untuk penelitian selanjutnya, sekaligus menghindari duplikasi penelitian yang tidak diperlukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Berdasarkan Hasil penelitian diatas dapat dilihat bahwa Cryotherapy, khususnya metode cool water immersion, adalah terapi efektif untuk pemulihan cedera olahraga. Metode ini memanfaatkan prinsip termodinamika, di mana perpindahan panas dari tubuh ke media pendingin mengurangi inflamasi dan nyeri. Efek fisiologisnya meliputi vasokonstriksi yang mengurangi aliran darah ke area cedera dan vasodilatasi pasca-terapi yang mempercepat pemulihan. Cryotherapy juga menghambat sinyal nyeri, mengurangi rasa sakit. Inovasi seperti sensor suhu otomatis dan kombinasi dengan terapi kompresi udara meningkatkan efektivitasnya. Secara keseluruhan, cryotherapy adalah metode pemulihan yang efisien untuk cedera olahraga. Hal diatas juga didukung oleh beberapa penelitian dibawah ini:

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Dhuhairi, dkk. (2021) di Rumah Sakit Al-Irsyad Surabaya, cryotherapy terbukti efektif dalam mengurangi nyeri pada pasien post-op ACL. Penelitian ini menggunakan desain *quasi eksperimen* dengan *one group pre and post test design*, melibatkan 25 responden yang diberikan terapi cryotherapy setelah menjalani operasi rekonstruksi ACL. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat penurunan nyeri yang signifikan setelah pemberian cryotherapy, dengan nilai $p < 0,005$ yang menunjukkan bahwa cryotherapy memiliki pengaruh positif dalam mengurangi nyeri. Cryotherapy bekerja dengan cara menurunkan suhu di area yang dioperasi, menyebabkan vasokonstriksi

- yang mengurangi aliran darah dan inflamasi, serta memberikan efek relaksasi. Selain itu, cryotherapy juga menghambat konduksi saraf sensorik, sehingga mengurangi sensasi nyeri.
2. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Simatupang, dkk (2024) [17] cryotherapy digunakan sebagai salah satu modalitas terapi dalam penanganan cedera meniscus tears untuk mengurangi nyeri dan pembengkakan. Cryotherapy diberikan bersama dengan modalitas lain seperti TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation) dan terapi latihan isometric exercise untuk meningkatkan pemulihan pasien. Cryotherapy bekerja dengan memberikan efek dingin yang membantu mengurangi inflamasi dan nyeri pada area yang cedera. Dalam penelitian ini, cryotherapy diberikan sebagai bagian dari intervensi fisioterapi selama 2 minggu, dengan frekuensi 1 kali per minggu, dan menunjukkan hasil yang positif dalam mengurangi nyeri serta meningkatkan kemampuan fungsional pasien.
 3. Berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh Andini (2017), Perubahan suhu ekstrim mempengaruhi konduksi serat saraf yang merespons nyeri. Terapi dingin segera meningkatkan aliran darah, meningkatkan kadar oksigen, meningkatkan metabolisme dan kejang otot secara signifikan. Cryotherapy dapat mengurangi nyeri dengan adanya mekanisme penurunan kecepatan konduktivitas saraf, menghambat stimulus nosiseptif (nyeri) dan mengurangi otot yang spasme (tegang otot) dengan penurunan tingkat enzim metabolisme pada otot". Cryotherapy terbukti bermanfaat sebagai salah satu pemulihan kondisi fisik atlet yang tepat digunakan pasca latihan (masa akut) dilihat dari fungsi dan sifatnya untuk meminimalisir kerusakan otot yang terjadi. Dikarenakan aplikasi dingin tersebut yang berfungsi sebagai penyerapan suhu panas yang berdampak kurangnya rasa nyeri sebagai salah satu pertanda terminimalisirnya kerusakan otot. Pemulihan cryotherapy ini harus diberikan sesuai aturan dan kebutuhan atlet pasca latihan. pemulihan ini harus dilakukan dengan tepat sesuai agar tujuan dari pemulihan ini bisa tercapai. Pemulihan ini dipakai pada saat respons peradangan masih sangat nyata (keadaan cedera akut). Bila ada seseorang atlet yang mengalami gangguan setelah melakukan pemulihan ini, sebaiknya dihentikan dan mencari item pemulihan kondisi fisik lainnya. Pemulihan cryotherapy dapat meminimalisir kerusakan otot yang akan terjadi setelah latihan melalui penyerapan kalori pada tubuh sehingga panas yang terjadi setelah latihan dapat dihantarkan dan juga dapat disimpulkan pemulihan es dalam bentuk basah (cair) lebih efektif mengantarkan panas dibandingkan es dalam bentuk padat. Pemulihan dingin dapat dipakai dalam beberapa bentuk seperti penggunaan es dan cold bath. Aplikasi dingin dapat mengurangi suhu daerah yang sakit, membatasi aliran darah dan mencegah cairan masuk ke dalam jaringan di sekitar luka. Hal ini akan mengurangi nyeri dan pembengkakan. Aplikasi dingin dapat mengurangi sensitivitas dari akhiran saraf yang berakibat terjadinya peningkatan ambang batas rasa nyeri. Aplikasi dingin juga mengurangi kerusakan jaringan dengan jalan mengurangi metabolisme local sekitar kebutuhan oksigen jaringan menurun. Pada umumnya dingin lebih mudah menembus jaringan, dibandingkan dengan panas. Ketika otot sudah mengalami penurunan suhu akibat aplikasi dingin, efek dingin dapat bertahan lebih lama dibandingkan panas kerana adanya lemak subkutan yang bertindak sebagai insulator. Di sisi lain, lemak subkutan merupakan barrier utama energi untuk menembus otot. Dalam perawatan nyeri yang disebabkan karena cedera, pemulihan dingin dilakukan hingga pembengkakan berkurang. Pemulihan dingin biasanya digunakan 24-48 jam setelah terjadinya cedera dan dipakai untuk mengurangi sakit dan pembengkakan. Panas selanjutnya digunakan dalam fase rehabilitasi fase kronis.
 4. Penelitian yang dilakukan oleh Arofah (2024) dalam *Jurnal Medika Olahraga* menunjukkan bahwa terapi dingin (cold therapy) merupakan metode fisioterapi yang efektif dalam menangani cedera olahraga, terutama pada fase akut. Hasil penelitian menjelaskan bahwa terapi ini bekerja dengan menurunkan suhu jaringan yang cedera, yang kemudian

menyebabkan vasokonstriksi arteriola dan venula, penurunan sensitivitas saraf bebas, serta perlambatan metabolisme sel. Efek ini membantu mengurangi nyeri, pembengkakan, spasme otot, serta mencegah kematian sel akibat cedera. Dalam penelitian ini, berbagai metode terapi dingin yang digunakan meliputi ice massage, ice packs, cold bath (water immersion), dan vapocoolant sprays. Selain itu, terapi dingin juga sering dikombinasikan dengan latihan (cryokinetics) untuk meningkatkan jangkauan gerak dan mempercepat pemulihan otot. Penelitian ini juga menegaskan bahwa terapi dingin tidak hanya efektif untuk cedera traumatis seperti memar, strain, dan sprain, tetapi juga berguna dalam menangani cedera akibat overuse yang sering terjadi pada atlet. Namun, penelitian ini juga mengingatkan bahwa meskipun terapi dingin memiliki banyak manfaat, penggunaannya harus dilakukan dengan prosedur yang tepat karena ada beberapa risiko seperti iritasi kulit, hipotermia, dan frostbite jika digunakan dalam waktu yang terlalu lama atau dengan suhu yang terlalu rendah. Selain itu, terapi dingin tidak disarankan bagi individu dengan kondisi medis tertentu, seperti Raynaud's syndrome, cryoglobulinemia, vasculitis, dan gangguan saraf sensoris akibat diabetes. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa terapi dingin merupakan modalitas fisioterapi yang efektif dan banyak digunakan dalam praktik medis untuk menangani cedera olahraga. Dengan pemahaman yang baik tentang teknik aplikasi, indikasi, serta batasan dan risikonya, terapi ini dapat menjadi pilihan yang aman dan efisien dalam mengurangi nyeri serta mempercepat pemulihan atlet atau individu yang mengalami cedera.

5. Penelitian yang dilakukan oleh Rifan (2024) dari Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Yogyakarta bertujuan untuk mengetahui efektivitas cryotherapy (water immersion) dalam pemulihan kelelahan pada atlet sepak bola. Studi ini menggunakan metode pre-eksperimental dengan desain one-group pretest-posttest, melibatkan 15 pemain PSIM Yogyakarta sebagai sampel. Pengukuran kelelahan dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu subjektif (menggunakan kuesioner) dan objektif (dengan tes waktu reaksi "Whole Body Reaction"). Hasil penelitian menunjukkan bahwa cryotherapy memiliki efek signifikan dalam mempercepat pemulihan kelelahan. Uji Wilcoxon menghasilkan nilai $p = 0,001$ ($p < 0,05$), yang menandakan bahwa metode ini berpengaruh signifikan terhadap pemulihan atlet. Secara subjektif, terjadi penurunan tingkat kelelahan hingga 80,39%, sementara secara objektif, terjadi peningkatan waktu reaksi sebesar 18,72%. Data ini menunjukkan bahwa setelah menjalani cryotherapy, atlet merasa lebih segar dan menunjukkan peningkatan respons fisik yang lebih baik. Secara fisiologis, cryotherapy membantu pemulihan dengan menurunkan suhu jaringan, mengurangi inflamasi, mempercepat vasokonstriksi, serta meningkatkan sirkulasi darah setelah vasodilatasi terjadi. Efek ini membantu mengurangi nyeri otot, mempercepat pengeluaran limbah metabolik seperti asam laktat, dan meningkatkan pemulihan otot pasca-latihan. Berdasarkan hasil penelitian ini, cryotherapy dapat menjadi metode pemulihan yang efektif bagi atlet sepak bola, terutama setelah latihan atau pertandingan yang intens. Metode ini tidak hanya membantu mengurangi kelelahan dan nyeri otot, tetapi juga memungkinkan atlet untuk lebih cepat kembali ke performa optimal, meningkatkan kebugaran, dan mempersiapkan diri untuk pertandingan selanjutnya.
6. Penelitian yang dilakukan oleh Sastra, (2018) meneliti pengaruh cryotherapy terhadap nyeri pada pasien dengan fraktur ekstremitas tertutup. Studi ini dilakukan di rumah sakit dan melibatkan sejumlah pasien yang menerima cryotherapy sebelum menjalani operasi. Hasilnya menunjukkan bahwa setelah satu hari aplikasi cryotherapy, skala nyeri pasien menurun dari 5-6 (kategori nyeri sedang) menjadi 3 (kategori nyeri ringan).

Pembahasan

Keterkaitan Cryotherapy dengan Hukum Termodinamika

Cryotherapy, metode terapi yang memanfaatkan suhu rendah, beroperasi berdasarkan prinsip yang sangat relevan dengan hukum termodinamika, terutama hukum pertama dan kedua.

Hukum pertama termodinamika mengindikasikan bahwa energi tidak bisa diciptakan atau hancur, melainkan hanya bisa diubah keberadaannya. Dalam pengertian cryotherapy, energi panas yang berasal dari tubuh (terutama jaringan yang terluka) dialihkan ke media dingin (seperti es atau air dingin) melalui proses konduksi. Penelitian oleh Dhuhairi, dkk., (2021) menunjukkan bahwa cryotherapy efektif dalam mengurangi rasa sakit setelah operasi ACL dengan menurunkan suhu jaringan, yang berujung pada vasokonstriksi dan pengurangan peradangan. Proses ini mencerminkan pemindahan energi panas dari jaringan ke media dingin, sejalan dengan prinsip konservasi energi dalam hukum pertama termodinamika.

Hukum kedua termodinamika, yang menyatakan bahwa energi cenderung mengalir dari tempat yang lebih panas ke tempat yang lebih dingin, juga tercermin dalam cara kerja cryotherapy. Penjelasan oleh Siamtupang dkk., (2024) menunjukkan bahwa penerapan dingin dalam cryotherapy menurunkan suhu jaringan, yang menghambat konduksi saraf sensorik serta mengurangi rasa sakit. Proses tersebut berlangsung karena panas yang ada di jaringan tubuh berpindah secara alami menuju media dingin yang memiliki temperatur lebih rendah, sesuai dengan prinsip hukum kedua termodinamika. Selain itu, penelitian oleh Arofah (2024) menekankan bahwa terapi dingin ini menurunkan suhu jaringan, yang mengakibatkan vasokonstriksi dan penurunan aktivitas metabolisme sel, membantu meringankan pembengkakan dan rasa sakit.

Efektivitas cryotherapy dipengaruhi oleh seberapa baik media dingin dapat menyerap panas. Penelitian yang dilakukan oleh Rifan (2024) pada tahun 2024 menunjukkan bahwa cryotherapy yang dilakukan dengan cara rendaman air lebih mampu menyedot panas tubuh daripada penggunaan es padat, karena air memiliki kapasitas panas spesifik yang lebih tinggi. Temuan ini mendukung prinsip termodinamika yang menetapkan bahwa jumlah panas yang diserap tergantung pada karakteristik termal dari media yang digunakan.

Mekanisme Termodinamika dalam Cryotherapy

Cryotherapy menggunakan prinsip perpindahan panas melalui tiga cara: konduksi, konveksi, dan evaporasi. Konduksi terjadi saat panas berpindah dari jaringan tubuh menuju media dingin yang bersentuhan langsung dengan kulit seperti kompres es. Menurut Bleakley et al., (2014) Konveksi dapat dilihat dalam metode rendaman air dingin, di mana aliran air dingin di sekitar tubuh mempercepat proses perpindahan panas. Evaporasi, seperti yang terlihat pada penggunaan semprotan vapocoolant, memanfaatkan proses penguapan cairan untuk mengambil panas dari permukaan kulit,

Studi yang dilakukan oleh Costello, J.T. et al., (2012) menjelaskan bahwa cryotherapy dapat menurunkan suhu jaringan sebanyak 3-7°C, yang cukup efektif untuk mengurangi laju metabolisme sel dan menekan inflamasi. Proses tersebut sejalan dengan hukum termodinamika, di mana penurunan suhu jaringan akan mengurangi aktivitas enzim dan kebutuhan akan oksigen, sehingga dapat menghindari kerusakan lebih lanjut pada sel.

Aplikasi Cryotherapy dalam Cedera Olahraga

Cryotherapy sering dipakai dalam penanganan cedera olahraga, khususnya pada tahap awal. Sebuah penelitian oleh Gullilo, et al., (2019) mengungkapkan bahwa cryotherapy dapat mengurangi rasa sakit dan pembengkakan dengan menurunkan suhu jaringan. Hal ini menyebabkan vasokonstriksi dan mengurangi aliran darah ke area yang terkena cedera. Dampak ini berkontribusi pada pengurangan penumpukan cairan yang menyebabkan inflamasi serta mempercepat proses pemulihan.

Di samping itu, cryotherapy juga bermanfaat untuk menanggulangi kelelahan otot setelah berolahraga. Sebuah studi oleh Peiffer et al., (2011) menunjukkan bahwa metode ini mempercepat pemulihan otot dengan mengurangi penumpukan asam laktat serta meningkatkan aliran darah setelah vasodilatasi terjadi. Proses ini menunjukkan bagaimana cryotherapy memanfaatkan prinsip-prinsip termodinamika untuk meningkatkan pemulihan fisik.

Risiko dan Batasan Cryotherapy

Walaupun memberikan hasil yang positif, cryotherapy juga mengandung beberapa risiko apabila tidak digunakan dengan tepat. Penelitian oleh Simatupan dkk., (2024) menemukan bahwa paparan suhu dingin yang berlebihan bisa mengakibatkan kerusakan jaringan, hipotermia, atau frostbite. Oleh karena itu, waktu dan suhu dalam penerapan cryotherapy harus disesuaikan dengan kebutuhan individu pasien serta jenis cedera yang dialami.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa cryotherapy merupakan metode yang efektif dalam penanganan cedera olahraga, terutama melalui mekanisme perpindahan panas berdasarkan prinsip termodinamika. Cryotherapy bekerja dengan menurunkan suhu jaringan, menyebabkan vasokonstriksi yang mengurangi inflamasi dan nyeri, serta menghambat konduksi saraf sensorik. Inovasi seperti sensor suhu otomatis dan kombinasi dengan terapi kompresi udara meningkatkan efektivitasnya. Namun, cryotherapy memiliki beberapa kontraindikasi dan risiko, seperti hipotermia dan frostbite, sehingga penggunaannya harus dilakukan dengan prosedur yang tepat dan pengawasan ketat. Secara umum, cryotherapy terbukti bermanfaat dalam mengurangi nyeri, mempercepat pemulihan, dan meningkatkan kemampuan fungsional pasien pasca cedera.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar penelitian lanjutan dilakukan dengan jangka waktu yang lebih panjang untuk menguji efektivitas cryotherapy dalam berbagai kondisi cedera dan jenis olahraga. Selain itu, pengembangan teknologi cryotherapy, seperti penggunaan sensor suhu otomatis dan kombinasi dengan modalitas terapi lainnya, perlu terus ditingkatkan untuk memaksimalkan efektivitasnya. Tenaga medis dan fisioterapis juga perlu mendapatkan pelatihan dan edukasi yang memadai mengenai prosedur dan risiko cryotherapy agar dapat menerapkannya secara aman dan efektif. Studi komparatif antara cryotherapy dengan metode pemulihan lainnya juga disarankan untuk menentukan pendekatan terbaik dalam penanganan cedera olahraga. Terakhir, penting untuk memantau pasien dengan riwayat medis tertentu, seperti diabetes atau gangguan pembuluh darah, selama penggunaan cryotherapy guna menghindari risiko yang tidak diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Perkasa, "Efektivitas Cryotherapy Terhadap Pemulihan Doms (Delayed Onset Muscle Soreness) Pada Atlet Gulat Smp/Sma Negeri 116 (Khusus Olahragawan) Ragunan Tahun 2017," Doctoral dissertation, Universitas Negeri Jakarta, 2017.
- A. A. Algaflly and K. P. George, "The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold, and pain tolerance," *British Journal of Sports Medicine*, vol. 41, no. 6, pp. 365–369, 2007.
- Arofah, N. I. (2024). Terapi dingin (cold therapy) dalam penanganan cedera olahraga. *Jurnal Medika Olahraga*, 5(1), 102-117.
- Andini, R. (2017). Pengaruh cryotherapy terhadap pemulihan fisik atlet. *Jurnal Olahraga dan Kesehatan*.
- Bleakley, C. M., Bieuzen, F., Davison, G. W., & Costello, J. T. (2014). *Whole-body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives*. 1543. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S41655>
- Cendikia Muda, J. (2022). Cryotherapy untuk pemulihan atlet: Kombinasi dengan kompresi udara dan perendaman air dingin (CWI). *Jurnal Rehabilitasi & Olahraga*, 5(3), 134-142
- D. Santoso and L. Wijaya, "Rancang Bangun Alat Terapi Elektrik Hot and Cold untuk Pemulihan Cedera pada Atlet," *Jurnal Hostechtronics*, vol. 3, no. 1, pp. 15-22, 2021.
- Dhuhairi, M. S., Israwan, W., Zakaria, A., & Hargiani, F. X. (2021). DOI: <http://dx.doi.org/10.33846/2trik11406> Pengaruh Pemberian. *TRIK: Tunas-Tunas Riset Kesehatan*, 11.
- Elfahem, R., Bouchet, B., Abbes, B., Legrand, F., Polidori, G., & Beaumont, F. (2024). Investigating Heat Transfer in Whole-Body Cryotherapy: A 3D Thermodynamic Modeling Approach with Participant Variability. *Fluids*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/fluids9030061>
- Guillot, X., et al. (2019). Cryotherapy in inflammatory rheumatic diseases: A systematic review. *Expert Review of Clinical Immunology*, 15(3), 281–294. <https://doi.org/10.1080/1744666X.2019.1575783>
- Joseph T. Costello, Lyne A. Algar, A. E. D. (2012). *Effects of Whole Body Cryotherapy (-110 ° C) on Proprioception and indices of Muscle Damage* .
- Nurhasana, E. S., & Pratama, H. (2022). Efektivitas cryotherapy dalam mengurangi nyeri dan edema pada pasien dengan cedera jaringan lunak. *Jurnal Keperawatan Indonesia*, 21(1), 30-37.
- Rifan, M. (2024). Efek cryotherapy (water immersion) terhadap pemulihan kelelahan atlet sepakbola. *Jurnal Ilmu Keolahragaan, Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Rahman, F., & Utami, S. (2020). Efek cryotherapy terhadap aktivitas saraf dan pengurangan nyeri pada cedera olahraga. *Jurnal Kesehatan Olahraga*, 12(1), 55-62.
- Simatupang, N. K., Naufal, A. F., & Mardianto, H. (2024). Penatalaksanaan Fisioterapi Dengan Terapi Latihan (Isometric Exercise) Pada Kondisi Meniscuss Tears: Case Report. *Physio Journal*, 4(1), 14-26.
- Smith, J., Brown, K., & Taylor, L. (2021). Impact of cryotherapy on inflammation and muscle regeneration. *International Journal of Athletic Recovery*, 12(4), 102–118.
- Peiffer, J., Abbiss, C., & Wall, B. (2011). *Effect of a 5 min cold water immersion recovery on exercise performance in the heat*. 44(2010), 461–465.
- Perdana, A. D. (2018). *Rancang Bangun Alat Terapi Panas dan Dingin sebagai Alat Bantu Percepatan Waktu Recovery pada Otot dengan Pengontrol Suhu Berbasis IPID*.

- Sastra, L. (2018). Pengaruh Terapi Dingin Cryotherapy Terhadap Penurunan Nyeri Pada Fraktur Ekstremitas Tertutup. *Jurnal Kesehatan Hesti Wira Sakti*, 2(6).
- Setyaningrum, D. A. W. (2019). Cedera olahraga serta penyakit terkait olahraga. *Jurnal Biomedika Dan Kesehatan*, 2(1), 39–44.
<https://doi.org/10.18051/jbiomedkes.2019.v2.39-44>
- Yusuf, R. I. (2021). *Aplikasi Finite Difference Method (FDM) untuk Mengetahui Distribusi Temperatur pada Kulit Manusia dengan Penggunaan Cold Pack untuk Cryotherapy* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).