

Analisis Penurunan Torsi Fleksi Siku Sebagai Indikator Fatigue Selama Serial Dumbbell Bicep Curl Pada Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi

**Aurelio H. Karel^{1*}, Vennetia R. Danes², Fransiska Lintong³, Maya E.W. Moningka⁴,
Jimmy F. Rumampuk⁵**

Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

Email: aureliokarel011@student.unsrat.ac.id*, vdanes27@gmail.com,

fransiskalintong@unsrat.ac.id, mayamoningka@unsrat.ac.id,

Jimmyrumampuk@unsrat.ac.id

Kata Kunci	Abstrak
Torsi, Fleksi Siku, Biceps brachii, Fatigue, Biomekanika	Kemampuan otot untuk menghasilkan gaya akan menurun akibat kontraksi berulang, yang dikenal dengan istilah muscle fatigue. Penurunan ini dapat diukur secara objektif dengan pengukuran torsi, yang secara biomekanik menunjukkan efektivitas gaya otot terhadap sumbu rotasi sendi. Torsi fleksi siku, yang dihasilkan oleh kontraksi otot Biceps brachii, menjadi indikator penting dalam menilai performa otot ekstremitas atas. Namun, penggunaan alat pengukur torsi berbasis elektromiografi (EMG) atau alat isokinetik sering dianggap mahal dan kurang praktis untuk penelitian berskala mahasiswa. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan biomekanika berbasis analisis sudut eksternal dengan software Kinovea untuk menghitung torsi fleksi siku selama gerakan dumbbell bicep curl. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah terdapat penurunan torsi fleksi siku yang signifikan sebagai indikator muscle fatigue selama serangkaian gerakan dumbbell bicep curl pada mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Manado. Penelitian ini menggunakan metode quasi-experimental dengan desain within-subject repeated measures yang melibatkan 20 mahasiswa laki-laki berusia 18-25 tahun. Gerakan tiga set dumbbell bicep curl direkam dan dianalisis menggunakan Kinovea untuk menentukan sudut torsi fleksi siku, kemudian dihitung torsi secara manual. Data antar set diuji dengan Repeated Measures Anova. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan torsi fleksi siku yang signifikan antar set ($p < 0,001$), dengan uji post-hoc Bonferroni menunjukkan semua perbandingan set bermakna. RPE juga meningkat seiring bertambahnya set. Torsi fleksi siku menurun secara signifikan selama serial dumbbell bicep curl, sehingga dapat digunakan sebagai indikator objektif muscle fatigue.
Keywords Torsi, Fleksi Siku, Biceps brachii, Fatigue, Biomekanika	Abstract The muscle's ability to produce force will decrease due to repeated contractions, known as muscle fatigue. This decrease can be objectively measured by torque measurement, which biomechanically demonstrates the effectiveness of muscle force against the axis of rotation of the joint. Elbow flexion torque, produced by the contraction of the Biceps brachii muscle, is an important indicator in assessing the performance of the upper extremity muscles. However, the use of electromyography-based torque measuring devices (EMG) or isokinetic devices is often considered expensive and impractical for student-scale research. Therefore, this study uses a biomechanics approach based on external angle analysis with Kinovea software to calculate elbow flexion torque during the

bicep curl dumbbell movement. The purpose of this study was to find out whether there was a significant decrease in elbow flexion torque as an indicator of muscle fatigue during a series of bicep curl dumbbell movements in students of the Faculty of Medicine, Sam Ratulangi Manado University. This study used a quasi-experimental method with a within-subject repeated measures design involving 20 male students aged 18-25 years. The movements of the three sets of bicep curl dumbbells were recorded and analyzed using Kinovea to determine the angle of elbow flexion torque, then the torque was calculated manually. Data between sets was tested with Anova's Repeated Measures. The results showed a significant decrease in elbow flexion torque between sets ($p < 0.001$), with Bonferroni's post-hoc test showing all set comparisons meaningful. RPE also increases as the set increases. Elbow flexion torque decreases significantly during the dumbbell bicep curl series, so it can be used as an objective indicator of muscle fatigue.



PENDAHULUAN

Kemampuan otot dalam menghasilkan gaya cenderung menurun secara bertahap ketika melakukan aktivitas fisik berulang, yang dikenal sebagai fatigue otot (Adi Agasta et al., 2023; Nugroho & Yuliandra, 2021; Rahayu & Permana, 2022; Sulistiadinata & Aditya, 2021). Kondisi ini tidak hanya menurunkan performa atletik, tetapi juga dapat memengaruhi kegiatan sehari-hari dan meningkatkan risiko cedera apabila tidak terdeteksi dengan baik (Li dkk., 2025; Serbest, 2022). Salah satu cara untuk menilai kelelahan otot adalah dengan mengamati penurunan torsi otot selama gerakan tertentu (Li dkk., 2025; Liao dkk., 2021). Torsi sendiri merupakan hasil perkalian gaya otot dengan panjang lengan momen terhadap poros sendi, yang secara biomekanik menggambarkan seberapa efektif otot bekerja pada sudut tertentu (Carzoli dkk., 2022). Oleh karena itu, perubahan nilai torsi dapat menggambarkan langsung berkurangnya kemampuan kontraktile otot akibat kelelahan (Serbest, 2022; Asadi Dereshgi, 2023).

Berbagai metode telah digunakan untuk mengukur fatigue otot, mulai dari penilaian subjektif seperti Rate of Perceived Exertion (RPE) hingga metode fisiologis seperti electromyography (EMG) dan pengukuran Maximal Voluntary Isometric Contraction (MVIC) (Coratella et al., 2023; Grimes et al., 2024; Serbest, 2022; Snoeck et al., 2021). Namun, perangkat seperti EMG atau alat isokinetik seringkali cukup mahal dan kurang praktis untuk penelitian dengan skala mahasiswa (Serbest, 2022; Liao dkk., 2021). Sebagai alternatif, pengukuran biomekanik berbasis analisis sudut dan perhitungan torsi menggunakan perangkat lunak video seperti Kinovea menawarkan cara yang lebih terjangkau, non-invasif, dan tetap objektif (Carzoli dkk., 2022; ASADI DERESHGI, 2023). Meskipun demikian, penggunaan metode ini masih terbatas terutama di kalangan populasi non-atlet dengan peralatan sederhana seperti dumbbell (Liao dkk., 2021; ASADI DERESHGI, 2023).

Dalam aplikasi nyata, terdapat kesenjangan antara teori tentang fatigue otot dengan cara pengukurannya di lapangan (Li dkk., 2025; Liao dkk., 2021). Contohnya pada latihan biceps curl menggunakan dumbbell, masih sedikit penelitian yang secara kuantitatif memantau penurunan torsi selama rangkaian repetisi sebagai indikator fatigue, khususnya pada pemuda usia produktif (Li dkk., 2025; Serbest, 2022). Banyak studi lebih memfokuskan pada jumlah repetisi hingga mencapai titik gagal (repetition to failure) atau persepsi subjektif yang rentan terhadap bias

masing-masing individu (Serbest, 2022; ASADI DERESHGI, 2023). Padahal, pemahaman yang tepat mengenai penurunan kemampuan torsi otot dapat membantu dalam merancang protokol latihan yang lebih akurat dan aman (Li dkk., 2025).

Penelitian oleh Ortega dkk. (2023) mengevaluasi pengaruh sudut siku terhadap Maximal Voluntary Isometric Contraction (MVIC) dan respons neuromuskular pasca fatigue dengan pendekatan berbasis Rating of perceived exertion (RPE). Digunakan sudut 75° dan 125° untuk pengukuran MVIC dan pengukuran kontraksi di kala fatigue, serta dicatat sinyal EMG dan MMG. Hasil menunjukkan penurunan MVIC yang signifikan, namun tanpa perubahan berarti pada parameter neuromuskular, menandakan sensitivitasnya yang rendah terhadap fatigue. Dibandingkan dengan studi terdahulu yang menilai torsi berdasarkan sudut, metode EMG/MMG dinilai lebih kompleks dan mahal. Karena itu, estimasi torsi melalui analisis sudut eksternal dari video bisa menjadi alternatif yang lebih praktis dan sesuai untuk studi dengan keterbatasan alat.

Penelitian oleh Smith dkk. (2022) juga mengeksplorasi bagaimana variasi sudut siku memengaruhi torsi dan respons neuromuskular selama kontraksi isometrik dengan target RPE 7, menggunakan EMG dan MMG pada sudut 75° dan 125°. Hasil menunjukkan bahwa torsi menurun secara signifikan hingga terjadi kelelahan, namun tidak diikuti oleh perubahan yang berarti pada sinyal EMG dan MMG, yang menunjukkan keterbatasan sensitivitas metode ini dalam mendeteksi fatigue. Oleh karena itu, estimasi torsi melalui analisis sudut eksternal dipandang sebagai alternatif yang lebih praktis dan terjangkau.

Karena itu, penting untuk meneliti bagaimana penurunan torsi pada fleksi sendi siku dapat menjadi indikator objektif dari fatigue otot biceps (Li dkk., 2025; Carzoli dkk., 2022). Fokus penelitian ini adalah mahasiswa laki-laki Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Manado, yang secara fisiologis berada dalam usia puncak kemampuan otot, yaitu pada rentang usia 18 hingga 25 tahun, dimana massa otot, kekuatan, serta kapasitas pemulihan cenderung berada dalam kondisi optimal (ASADI DERESHGI, 2023). Selain itu, sebagai mahasiswa fakultas kedokteran, mereka memberikan keuntungan berupa pemahaman dasar mengenai anatomi dan fisiologi otot, sehingga mempermudah dalam pemberian instruksi serta pelaksanaan prosedur penelitian. Dengan mengukur sudut fleksi siku menggunakan software Kinovea serta menghitung torsi selama serial gerakan dumbbell bicep curl, diharapkan studi ini dapat menjembatani kesenjangan dalam metode pengukuran.

Tujuan penelitian ini secara umum adalah untuk mengetahui signifikansi penurunan torsi fleksi siku sebagai indikator kelelahan otot biceps selama melakukan rangkaian dumbbell bicep curl. Secara khusus, penelitian ini bertujuan membandingkan total torsi antar setiap set latihan untuk mengidentifikasi adanya tren penurunan yang terjadi dari set ke set, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai pola munculnya kelelahan otot biceps selama aktivitas latihan tersebut.

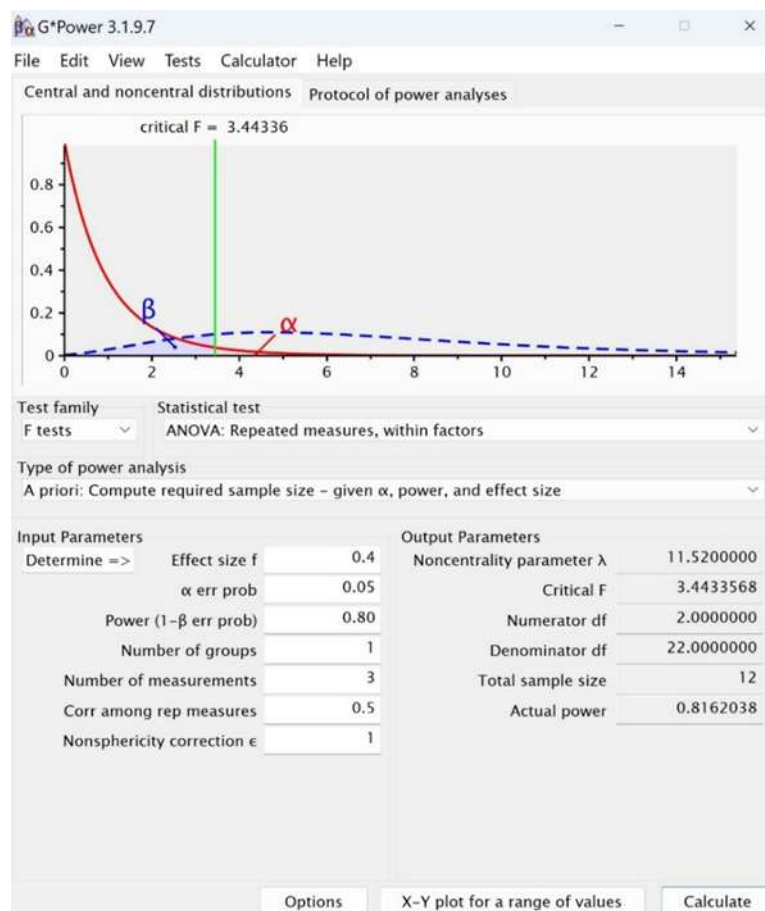
Manfaat penelitian ini bagi peneliti adalah menambah pengalaman dalam merancang penelitian ilmiah serta memperdalam pemahaman mengenai torsi dan fatigue otot selama latihan resistensi. Bagi instansi atau lembaga, penelitian ini memberikan referensi ilmiah untuk penyusunan program latihan yang aman dan efektif berbasis pemantauan kelelahan otot. Di bidang pendidikan, hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai bahan ajar atau referensi dalam kedokteran olahraga dan biomekanika bagi mahasiswa maupun dosen. Sementara itu, bagi masyarakat, penelitian ini menawarkan metode pengukuran fatigue otot yang lebih sederhana, terjangkau, dan mudah diterapkan dibandingkan instrumen yang kompleks dan mahal. Pendekatan perhitungan torsi berbasis analisis sudut eksternal menggunakan Software Kinovea

diharapkan dapat menjadi alternatif pemantauan efektivitas latihan, sehingga mendukung program peningkatan kebugaran dan pencegahan cedera secara lebih luas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam jenis eksperimen semu (quasi-experimental), dengan rancangan penelitian menggunakan desain cross-sectional dan *within-subject repeated measures*. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh mahasiswa laki-laki Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Manado. Sampel yang digunakan adalah sebagian individu dari populasi tersebut yang memenuhi kriteria inklusi yang telah ditetapkan.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi mahasiswa laki-laki Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Manado berusia 18–25 tahun, tanpa riwayat cedera otot atau sendi pada lengan atas, siku, atau bahu dalam 6 bulan terakhir, serta tanpa program latihan kekuatan intensif untuk otot bicep dalam 2 hari terakhir. Mahasiswa yang dapat melakukan gerakan dumbbell bicep curl dengan teknik yang benar dan tanpa rasa nyeri, serta bersedia menandatangani lembar persetujuan partisipasi, akan dimasukkan dalam sampel. Kriteria eksklusi mencakup mahasiswa yang mengalami cedera atau nyeri saat pengambilan data, tidak mampu menyelesaikan seluruh set bicep curl, memiliki gangguan neuromuskular, atau tidak kooperatif selama proses pengambilan data. Penentuan besar sampel dilakukan dengan aplikasi G*Power 3.1.9.7 menggunakan desain F test – Repeated measures: within factors.



Gambar 1. Perhitungan menggunakan aplikasi G*Power 3.1.9.7

berikut: nilai effect size (f) sebesar 0,4 (kategori sedang hingga besar menurut Cohen), α error probability sebesar 0,05, power ($1 - \beta$) sebesar 0,80, jumlah kelompok sebanyak 1 (karena within-subject), serta jumlah pengukuran (3 level repeated measures). Berdasarkan parameter tersebut, G*Power menghitung bahwa jumlah subjek yang dibutuhkan adalah 12 orang. Nilai effect size ini diasumsikan berdasarkan temuan penelitian sebelumnya oleh Ortega dkk pada tahun 2023 yang menunjukkan bahwa latihan isotonik seperti dumbbell bicep curl mampu menimbulkan perubahan fisiologis yang bermakna terhadap variabel torsi otot (6).

Teknik Sampling

Teknik pengambilan sampel dilakukan secara purposive sampling, yakni pemilihan subjek berdasarkan pertimbangan tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian

Variabel Penelitian

1. Variabel independen: serial gerakan dumbbell bicep curl
2. Variabel dependen: torsi fleksi siku

Tabel 1. Variabel

Variabel	Definisi	Alat Ukur	Parameter	Skala
Serial Gerakan Dumbbell Bicep curl	suatu bentuk latihan resistensi yang secara spesifik menargetkan otot <i>biceps brachii</i> , serta turut melibatkan otot <i>brachialis</i> dan <i>brachioradialis</i> sebagai sinergis.	<i>Adjustable dumbbell</i> dengan rentang beban 1 – 15 kg Beban kerja: 3 set, dengan repetisi hingga <i>failure</i>	Skala Borg	Rasio
Torsi Fleksi Siku	besarnya momen gaya yang dihasilkan oleh otot <i>biceps brachii</i> saat melakukan gerakan fleksi pada sendi siku selama latihan <i>dumbbell bicep curl</i>	<i>Software Kinovea</i>	Torsi diukur dalam satuan Nm (Newton Meter)	Rasio

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus - September 2025, dengan lokasi di Gedung A13 Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Kampus Malalayang. Instrumen penelitian meliputi tabel pengukuran yang berisi data seperti inisial dan kode nomor subjek, umur subjek, panjang lengan bawah subjek, beban dumbbell yang digunakan, jumlah repetisi tiap set dalam tiga set latihan, skala RPE yang digunakan pada tiap set, serta catatan khusus selama set berlangsung. Alat yang digunakan dalam pengukuran meliputi kamera Sony a6600 dengan frame rate 100 fps untuk merekam gerakan subjek, software Kinovea untuk analisis besar sudut antara arah gaya dan lengan bawah subjek melalui

rekaman video, serta software SPSS untuk analisis data. Selain itu, digunakan juga adjustable dumbbell dengan rentang beban dari 1 – 15 kg.

Metode Pengumpulan Data

1. Persiapan Penelitian

Pada tahap ini, peneliti menetapkan populasi dan sampel penelitian, menentukan lokasi dan periode pelaksanaan penelitian, serta menyiapkan instrumen yang akan digunakan dalam proses pengumpulan data.

2. Informed Consent

Peneliti memberikan penjelasan mengenai tujuan dan prosedur penelitian kepada subjek, lalu meminta mereka untuk mengisi data diri serta menandatangani surat persetujuan tertulis sebagai bentuk kesediaan berpartisipasi dalam penelitian.

3. Cara Pengambilan Data

Peneliti memulai proses penelitian dengan mengukur panjang lengan bawah dominan partisipan menggunakan pita ukur, kemudian menjelaskan prosedur gerakan dumbbell bicep curl yang akan dilakukan, termasuk batasan gerakan, titik awal dan akhir, serta kriteria kegagalan repetisi sempurna.

Sebelum pengambilan data, partisipan melakukan pemanasan ringan berupa gerakan dinamis untuk otot lengan atas dan bahu. Peneliti kemudian menempelkan stiker putih sebagai penanda anatomi pada pergelangan tangan dan siku untuk keperluan tracking gerakan menggunakan aplikasi Kinovea. Kamera ditempatkan pada posisi lateral sejajar dengan lengan dominan untuk merekam gerakan secara 2D. Selanjutnya, partisipan melakukan tiga set gerakan dumbbell bicep curl bilateral dengan beban tetap pada intensitas RPE 13–20, dan setiap set dilakukan hingga failure. Waktu istirahat antar set ditentukan berdasarkan kemampuan partisipan, yakni ketika otot biceps dinilai siap melanjutkan latihan tanpa kelelahan berlebih, namun tetap dalam rentang 3–5 menit. Rekaman video dari setiap set kemudian dianalisis menggunakan Kinovea untuk mengukur sudut vektor gerakan yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan torsi. Seluruh rangkaian pengambilan data dilakukan dalam satu sesi untuk setiap partisipan dengan desain repeated measures melalui tiga set latihan yang dilaksanakan secara berurutan pada hari yang sama.

Analisis Data

Data yang diperoleh berupa nilai torsi fleksi siku dari masing-masing partisipan pada setiap set dumbbell bicep curl (set 1, set 2, dan set 3). Data ini dianalisis untuk mengetahui apakah terdapat penurunan torsi sebagai indikator fatigue otot biceps seiring bertambahnya jumlah set.

Langkah-langkah analisis data adalah sebagai berikut:

Pengolahan Data Awal

Video hasil perekaman dianalisis menggunakan perangkat lunak Kinovea untuk memperoleh sudut siku dan panjang lengan momen pada setiap repetisi. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, torsi dihitung menggunakan rumus:

$$\tau = F \times r \times \sin \theta$$

dengan, τ = torsi, F = gaya (diasumsikan dari beban dumbbell dikali nilai gravitasi), r = panjang lengan momen, dan θ = sudut antara lengan bawah dan arah gaya. Untuk konsistensi, nilai torsi total dari tiap set digunakan sebagai data utama.

Uji Normalitas

Data torsi dari ketiga set diuji normalitasnya menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk menentukan jenis uji statistik yang sesuai.

Sphericity Test

Data torsi dari ketiga set diuji homogenitasnya menggunakan Mauchly's Test of Sphericity.

Uji Statistik Inferensial

Karena desain penelitian menggunakan within-subject repeated measures, maka:

4. Jika data berdistribusi normal dan homogen: digunakan Repeated measures ANOVA.
5. Jika data tidak berdistribusi normal atau tidak homogen: digunakan Friedman Test sebagai uji non-parametrik alternatif.

Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan nilai torsi antar set.

Uji Lanjutan (Post Hoc)

Jika hasil uji menunjukkan perbedaan yang signifikan, dilakukan uji post hoc (misalnya Bonferroni) untuk mengetahui antar set mana saja yang memiliki perbedaan signifikan.

Interpretasi Hasil

Hasil uji statistik akan dijadikan dasar untuk menarik kesimpulan apakah terjadi penurunan torsi fleksi siku secara bermakna selama serial dumbbell bicep curl, yang dapat diinterpretasikan sebagai indikator fatigue otot biceps.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum

Penelitian ini meneliti tentang seberapa besar signifikansi penurunan torsi fleksi siku selama serial gerakan dumbbell bicep curl pada mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi. Pengambilan data dilakukan mulai tanggal 3 September 2025 sampai dengan tanggal 9 September 2025. Penelitian ini menggunakan desain penelitian cross-sectional dengan pendekatan repeated measures design, yang artinya setiap subjek dilakukan pengukuran pada tiga waktu berbeda selama gerakan serial dumbbell bicep curl, yaitu setelah set 1, set 2, dan set 3, dengan tujuan untuk menilai signifikansi penurunan torsi fleksi siku. Penelitian ini dilakukan di 3 lokasi yaitu, lingkungan Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Kampus Malalayang dan Kampus Kleak, dan salah satu lokasi lainnya di Kost Bethania, Jalan Manibang 2, dikarenakan 4 subjek yang bersedia jika penelitian dilakukan di tempat tersebut.

Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik purposive sampling, dengan penentuan jumlah sampel menggunakan aplikasi G*Power 3.1.9.7, dan berdasarkan perhitungan aplikasi, dibutuhkan sampel sebanyak 12 orang. Namun, dikarenakan antusiasme dari mahasiswa-mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi, dan juga untuk mendapatkan hasil penelitian yang adekuat, jumlah sampel yang terkumpul berjumlah 20 sampel. Sebelum melakukan penelitian, subjek telah memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi, dan telah diberikan pengarahan mengenai gerakan dumbbell bicep curl, serta menandatangani formulir informed consent yang ada.

Gambaran Khusus

Hasil penelitian didapatkan dari 20 subjek mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi, adapun karakteristik yang didapatkan dari 20 subjek ini yaitu: usia, panjang

momen lengan, beban dumbbell yang digunakan, dan skala RPE tiap subjek di tiap set. Data distribusi subjek berdasarkan usia dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Distribusi subjek berdasarkan usia

Usia (tahun)	Frekuensi (n)	Persentase (%)
18	3	15
19	4	20
20	5	25
21	4	20
22	4	20
Total	20	100

Data distribusi subjek berdasarkan usia memperlihatkan bahwa dari 20 sampel, subjek paling banyak berusia 20 tahun yaitu sebanyak 5 subjek, diikuti dengan usia 19, 21, dan 22 tahun yang masing-masing berjumlah 4 subjek, dan paling sedikit ada di usia 18 tahun, yaitu sebanyak 3 subjek. Data distribusi subjek berdasarkan panjang momen lengan dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Distribusi subjek berdasarkan panjang momen lengan

Panjang momen lengan (m)	Frekuensi (n)	Persentase (%)
0,33	3	15
0,34	4	20
0,35	6	30
0,36	2	10
0,37	3	15
0,39	2	10
Total	20	100

Data distribusi subjek berdasarkan panjang momen lengan menunjukkan subjek paling banyak memiliki panjang momen lengan sepanjang 0,35 m yang berjumlah 6 subjek, panjang momen lengan 0,34 m sebanyak 4 subjek, panjang momen lengan 0,33 dan 0,36 m sebanyak 3 subjek, dan panjang momen lengan 0,36 dan 0,39 m yang memiliki jumlah paling sedikit, yaitu sebanyak 2 subjek. Data distribusi subjek berdasarkan beban dumbbell yang digunakan dapat dilihat pada tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Distribusi subjek berdasarkan beban dumbbell yang digunakan

Beban <i>dumbbell</i> (kg)	Frekuensi (n)	Persentase (%)
5	1	5
6,5	13	65
7	3	15
9	1	5
10	2	10
Total	20	100

Data distribusi subjek berdasarkan beban dumbbell yang digunakan menunjukkan subjek paling banyak memilih mengangkat dumbbell dengan beban 6,5 kg yaitu sebanyak 13 subjek, diikuti dengan beban dumbbell 7 kg sebanyak 3 subjek, lalu beban 10 kg sebanyak 2 subjek, dan beban dumbbell dengan jumlah subjek paling sedikit yaitu beban 5 dan 9 kg yang

berjumlah masing-masing 1 subjek. Data distribusi subjek berdasarkan skala RPE yang dirasakan tiap subjek pada set 1 dapat dilihat pada tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. Distribusi skala RPE yang dirasakan tiap subjek pada set 1

Skala RPE	Frekuensi (n)	Persentase (%)
13	9	45
15	7	35
16	3	15
17	1	5
Total	20	100

Tabel 6 menunjukkan distribusi skala RPE yang dirasakan tiap subjek pada set 1, subjek paling banyak melakukan gerakan pada RPE 13 dengan jumlah subjek 9 subjek, diikuti dengan RPE 15 sebanyak 7 subjek, RPE 16 sebanyak 3 subjek, dan paling sedikit yaitu RPE 17 sebanyak 1 subjek. Distribusi subjek berdasarkan skala RPE yang dirasakan tiap subjek pada set 2 dapat dilihat pada tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7. Distribusi skala RPE yang dirasakan tiap subjek pada set 2

Skala RPE	Frekuensi (n)	Persentase (%)
15	8	40
16	4	20
17	7	35
18	1	5
Total	20	100

Tabel 7 menunjukkan distribusi skala RPE yang dirasakan tiap subjek pada set 2, subjek paling banyak melakukan gerakan pada RPE 15 sebanyak 8 subjek, diikuti dengan RPE 16 sebanyak 4 subjek, RPE 17 sebanyak 7 subjek, dan paling sedikit yaitu RPE 18 sebanyak 1 subjek. Distribusi subjek berdasarkan skala RPE yang dirasakan tiap subjek pada set 3 dapat dilihat pada tabel 8 di bawah ini:

Tabel 8. Distribusi skala RPE yang diraskaan tiap subjek pada set 3

Skala RPE	Frekuensi (n)	Persentase (%)
15	1	5
16	6	30
17	6	30
18	4	20
19	2	10
20	1	5
Total	20	100

Tabel 8. menunjukkan distribusi skala RPE yang dirasakan tiap subjek pada set 3, subjek paling banyak melakukan gerakan pada RPE 16 dan 17 sebanyak 6 subjek masing-masing, diikuti dengan RPE 18 sebanyak 4 subjek, RPE 19 sebanyak 2 subjek, dan paling sedikit RPE 15 dan 20, yaitu sebanyak 1 subjek masing-masing.

Uji Normalitas

Hasil uji normalitas Shapiro-Wilk dapat dilihat pada tabel 9 di bawah ini:

Tabel 9. Hasil uji normalitas Shapiro-Wilk

	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for Set 1	,900	20	,041
Standardized Residual for Set 2	,949	20	,353
Standardized Residual for Set 3	,953	20	,412

Hasil uji normalitas menggunakan uji *Shapiro-Wilk* pada aplikasi SPSS menunjukkan signifikansi $>0,005$ yang artinya data berdistribusi normal, sehingga analisis data bisa menggunakan uji parametrik *Repeated Measures Anova*.

Mauchly's Test of Sphericity

Hasil uji sferisitas *Mauchly's Test of Sphericity* dapat dilihat pada tabel 10 di bawah ini:

Tabel 10. Hasil uji sferisitas Mauchly

<i>Within Subjects Effect</i>	df	Sig.
Waktu	2	,002

Hasil uji sferisitas menggunakan *Mauchly's Test of Sphericity* menunjukkan signifikansi ,002 yang artinya varians perbedaan antar kelompok data tidak sama atau tidak homogen. Namun, dalam uji *Repeated Measures Anova*, hasil uji sferisitas *mauchly* tidak menjadi syarat mutlak untuk penggunaan uji parametrik, jika hasil signifikansi didapatkan $<0,005$, maka pada hasil analisis data di tabel *Tests of Within Subjects Effects*, peneliti mengacu pada hasil sig. *Greenhouse-Geisser*.

Hasil Analisis Data Repeated Measures Anova

Analisis data akan menggunakan uji *Repeated Measures Anova* yang merupakan uji parametrik, dikarenakan distribusi data yang normal menurut uji normalitas *Shapiro-Wilk*. Hasil analisis data menggunakan *Repeated Measures Anova* dapat dilihat pada tabel 11 di bawah ini:

Tabel 11. Hasil *Test of Within-Subject Effects Repeated Measures Anova*

Source	Sig.
Waktu <i>Sphericity Assumed</i>	$<,001$
<i>Greenhouse-Geisser</i>	$<,001$
<i>Huynh-Feldt</i>	$<,001$
<i>Lower-bound</i>	$<,001$

Tabel 11 menunjukkan hasil uji *Repeated Measures Anova*, yang dalam perangkat SPSS ditampilkan pada output, *Tests of Within-Subjects Effects*. Dikarenakan asumsi sferisitas pada Tes *Mauchly* dilanggar dengan sig. ,002, maka untuk hasil signifikansi pada tabel *Tests of Within Subjects-Effects* mengacu pada koreksi *Greenhouse-Geisser*, dan didapatkan nilai sig. $<0,001$ yang menunjukkan hasil signifikan. Maka, dapat disimpulkan bahwa H_a diterima, dan H_0 ditolak, yang artinya, terdapat penurunan torsi fleksi siku yang signifikan selama serial gerakan dumbbell bicep curl.

Hasil Uji Post-Hoc (Bonferroni)

Tabel 12 di bawah ini menunjukkan perbandingan antar set menggunakan uji post-hoc (Bonferroni) dan didapatkan hasil sig.<,001 yang artinya antar set terdapat penurunan torsi fleksi siku yang signifikan.

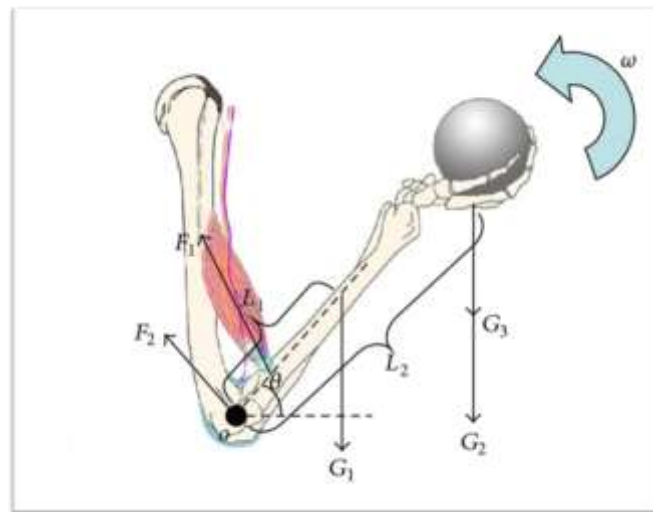
Tabel 12. Hasil perbandingan signifikansi antar set menurut uji *post-hoc bonferroni*

(I) Waktu	(J) Waktu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	121.750*	18.604	<,001	72.914	170.587
	3	175.276*	20.471	<,001	121.538	229.014
2	1	-121.750*	18.604	<,001	-170.587	-72.914
	3	53.526*	9.306	<,001	29.095	77.956
3	1	-175.276*	20.471	<,001	-229.014	-121.538
	2	-53.526*	9.306	<,001	-77.956	-29.095

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 3 September 2025 – 9 September 2025, fokus utama penelitian ini adalah untuk melihat signifikansi penurunan torsi fleksi sikuselama serial gerakan dumbbell bicep curl pada mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi. Dalam penelitian ini, analisis sudut fleksi siku dilakukan menggunakan perangkat lunak Kinovea yang berfungsi untuk mengidentifikasi perubahan sudut eksternal selama gerakan dumbbell bicep curl. Nilai sudut yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung variabel $\sin \theta$ dalam rumus torsi secara manual.

Berdasarkan hasil uji repeated measures anova, data yang dihasilkan menunjukkan terjadinya penurunan torsi fleksi siku pada subjek penelitian. Perbandingan total torsi fleksi siku pada set 1, set 2, dan set 3 menjadi data utama yang diolah dalam program SPSS. Hasil analisis data menginterpretasikan nilai sig.<0,001 yang berarti adanya penurunan signifikan. Hasil tersebut menunjukkan H_a diterima.

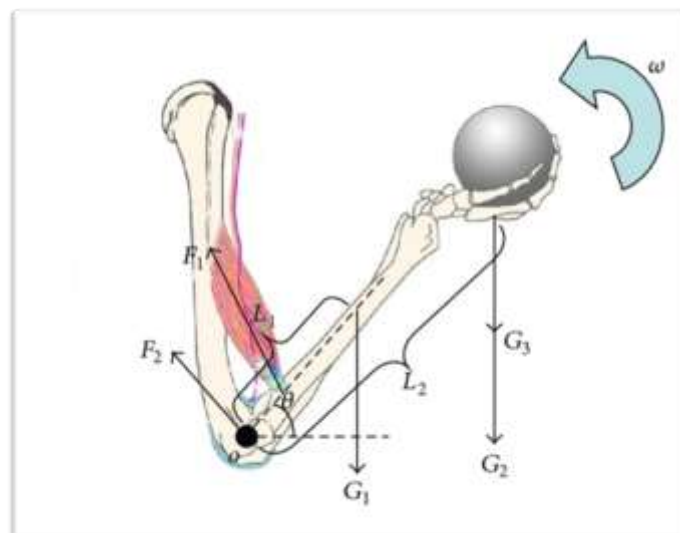
Otot Biceps brachii merupakan otot lengan atas yang bertugas untuk melakukan fleksi siku dan sebagai supinator dari lengan bawah (Manpreet dkk., 2024), dengan aktivasi otot sebesar 15% hingga 30% pada fleksi lengan bawah, dan 50% aktivasi pada posisi supinasi (Pichierri dkk., 2025). Latihan kekuatan menggunakan beban eksternal dapat meningkatkan kekuatan Biceps brachii dalam melaksanakan fungsinya, yang akhirnya dapat meningkatkan beban eksternal yang mampu diangkat. Dalam melakukan fungsi ini, hukum torsi dalam fisika dapat diterapkan.



Gambar 2. Ilustrasi sudut fleksi siku selama dumbbell bicep curl

Sumber: ASADI DERESHGI H. Investigating the biomechanics of the biceps brachii muscle during dumbbell curl exercise. (5)

Dalam biomekanika dumbbell bicep curl, sudut θ diartikan sebagai sudut fleksi siku yang terbentuk antara gaya gravitasi dan lengan bawah, dan digunakan untuk menghitung variabel $\sin \theta$ dalam rumus torsi, seperti yang bisa dilihat pada gambar 9. Panjang momen lengan (moment arm) ditentukan sebagai jarak tegak lurus dari pusat rotasi siku ke pusat titik tumpu antara tangan dan dumbbell, seperti yang bisa dilihat pada gambar 10, yang ditandai oleh garis L_2 . Kedua parameter ini termasuk dalam variabel mekanis yang menentukan besar torsi pada setiap fase gerakan.



Gambar 3. Skema gaya pada sendi siku

biceps brachii muscle during dumbbell curl exercise. (5)

Penelitian oleh Smith dkk. (2022) dan Ortega dkk. (2023) mendapatkan bahwa selama latihan kekuatan isometrik fleksi siku menggunakan alat EMG dan MMG, serta dynamometer statis akan ada penurunan dari torsi fleksi siku. Pada kedua penelitian itu, para peneliti meneliti

torsi dalam kontraksi fleksi siku secara isometrik pada beberapa sudut siku. Penurunan torsi fleksi siku ini kemungkinan besar berkaitan dengan berkurangnya central drive secara sadar dari sistem saraf pusat, sehingga mengurangi intensitas aktivasi otot. Kondisi ini diikuti dengan de-recruitment atau pelepasan perekrutan unit motorik otot. Temuan ini mengindikasikan bahwa faktor kelelahan tidak hanya berasal dari mekanisme perifer, tetapi juga melibatkan mekanisme sentral berupa penurunan input neural terhadap otot rangka. Penelitian ini mendukung temuan dari peneliti bahwa torsi fleksi siku akan mengalami penurunan selama serial gerakan dumbbell bicep curl, yang merupakan gerakan isotonik.

Selama melakukan gerakan isotonik seperti dumbbell bicep curl, otot yang bekerja, yang dalam hal ini adalah M. Biceps brachii akan mengalami pemanjangan dan pemendekan otot, yang disebut dengan sliding filament mechanism (Kostek, 2023). Energi yang digunakan untuk mekanisme ini dalam latihan isotonik seperti dumbbell bicep curl sudah melebihi kapasitas aerobik, yang akhirnya membuat otot beralih ke respirasi anaerobik untuk mendapatkan ATP. Respirasi anaerobik yang berkepanjangan menyebabkan terakumulasinya asam laktat dan ion hidrogen sebagai sisa metabolit. Peningkatan ion hidrogen berhubungan erat dengan penurunan pH otot, yang terbukti berkorelasi dengan penurunan kekuatan dan kecepatan kontraksi (Miller & Thompson, 2020).

Hasil penelitian ini mendukung temuan dari Serbest (2022). Penurunan torsi tidak hanya menggambarkan fenomena fatigue fisiologis akibat penurunan kemampuan kontraksi otot, tetapi juga menunjukkan penurunan efisiensi biomekanis sistem otot-tendon selama kontraksi yang berulang. Serbest dkk membuktikan melalui simulasi model finite element bahwa peningkatan beban dari 6 kg menjadi 10,7 kg tidak diikuti peningkatan gaya otot secara linear akibat karakteristik non-linear kompleks otot-tendon, di lain sisi, penelitian ini memperlihatkan fenomena yang sama dalam konteks kontraksi berulang dengan beban yang konstan. Penurunan torsi fleksi siku yang signifikan pada setiap set menunjukkan bahwa efisiensi mekanik Biceps brachii menurun seiring meningkatnya jumlah repetisi, sehingga gaya yang dihasilkan otot tidak sepenuhnya dapat diubah menjadi momen gaya pada sendi siku.

Temuan Dereshgi (2023) memperkuat hasil penelitian Serbest dkk pada tahun 2022 yang menunjukkan bahwa hubungan antara peningkatan beban eksternal dan gaya otot Biceps brachii bersifat non-linear akibat karakteristik biomekanis kompleks dari sistem otot-tendon. Dalam penelitiannya, peningkatan beban dumbbell sebesar 100% (dari 5 kg menjadi 10 kg) hanya meningkatkan gaya otot rata-rata sebesar 60,17% dan gaya maksimum sebesar 83,13%, menunjukkan adanya batas efisiensi biomekanik dalam transmisi gaya dari otot ke tendon dan sendi.

Kedua penelitian ini menyatakan bahwa pada Biceps brachii, peningkatan beban pada orang yang sama tidak berbanding lurus dengan peningkatan torsi atau gaya yang dihasilkan karena momen lengan dan sudut sendi siku berubah selama gerakan, menyebabkan variasi panjang sarkomer yang memengaruhi tegangan otot. Selain itu, Dereshgi juga menyoroti bahwa tegangan dan regangan tertinggi berada pada perlekatan otot-tendon, yang mendukung temuan Serbest dkk bahwa ketidakseimbangan distribusi gaya internal selama kontraksi berulang berkontribusi terhadap penurunan efisiensi mekanik dan peningkatan risiko fatigue lokal. Penurunan efisiensi mekanik ini terlihat pada stabilitas sudut dan lintasan gerak dumbbell yang mula bergeser akibat akumulasi regangan viskoelastis pada jaringan otot dan tendon, akibatnya, proporsi gaya otot yang dikonversi menjadi momen gaya menurun, menghasilkan torsi yang lebih kecil.

Performa latihan resistensi tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas unit motorik otot yang terlibat, tapi juga dipengaruhi oleh kemampuan sistem saraf dalam mengaktivasi otot. Neural adaptation akibat latihan resistensi mencakup peningkatan eksitasi supraspinal dan aktivasi korteks motorik (Miller & Thompson, 2020). Di saat yang bersamaan, terjadi juga perubahan pada neuromuscular junction yang dapat meningkatkan transmisi neuromuskular, sehingga aktivasi otot menjadi lebih efisien. Adaptasi ini meningkatkan jumlah unit motorik otot yang bisa direkrut selama kontraksi. Namun demikian, penelitian oleh Smith dkk pada tahun 2022 menunjukkan bahwa faktor subjektif seperti motivasi dan kondisi psikologis juga berperan dalam penurunan performa, dimana turunnya motivasi dapat mempercepat munculnya fatigue sebagai mekanisme protektif tubuh.

Tabel distribusi skala RPE yang dirasakan oleh subjek yang diperoleh peneliti memperlihatkan fenomena yang konsisten dengan teori tersebut. Pada set pertama, mayoritas partisipan melaporkan persepsi usaha atau skala RPE 13, yang menurut skala Borg memiliki interpretasi, “terasa mulai berat”. Namun, pada set kedua, skala RPE 13 sudah tidak lagi muncul, bergeser ke skala RPE 15 sebagai skala terbanyak. Selanjutnya, pada set ketiga, distribusi RPE didominasi oleh skala 16 dan 17, yang mengindikasikan semakin tingginya persepsi beratnya aktivitas. Dengan demikian, terlihat adanya hubungan yang berbanding terbalik antara persepsi individu berupa peningkatan skala RPE dan penurunan torsi, yang memperkuat peran torsi sebagai indikator objektif dalam mendeteksi fatigue.

Panjang momen lengan berpotensi untuk mempengaruhi persepsi usaha yang digambarkan oleh skala RPE, meskipun dalam penelitian ini tidak secara khusus menguji hubungan tersebut. Secara biomekanis, momen lengan yang lebih panjang akan meningkatkan torsi eksternal yang harus dilawan oleh otot Biceps brachii, sehingga individu dengan momen lengan yang lebih panjang cenderung menghasilkan gaya otot yang lebih besar untuk melakukan gerakan yang sama dengan individu yang memiliki momen lengan lebih pendek. Ini akan menghasilkan persepsi usaha yang lebih tinggi, terutama ketika kontraksi dilakukan secara berulang hingga tidak mampu melakukan kontraksi lagi. Namun, dalam penelitian ini, para subjek tidak menunjukkan variasi panjang momen lengan yang ekstrim, sehingga perubahan RPE yang tercatat lebih banyak dipengaruhi oleh akumulasi fatigue fisiologis dan penurunan efisiensi mekanik dibandingkan oleh perbedaan anatomi momen lengan.

Selama penelitian, peneliti menemui keterbatasan penelitian yang sekiranya bisa menjadi referensi untuk penelitian-penelitian kedepannya, yaitu sampel penelitian yang terbatas pada mahasiswa laki-laki Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi dalam rentang usia 18-25 tahun, sehingga hasilnya belum tentu bisa digeneralisasikan pada populasi dengan karakteristik berbeda, misalnya perempuan, kelompok usia lanjut, atau individu dengan latar belakang latihan yang beragam.

KESIMPULAN

Terdapat penurunan torsi fleksi siku yang signifikan pada setiap set latihan dumbbell bicep curl, yang menunjukkan terjadinya fatigue otot Biceps brachii seiring meningkatnya set latihan. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa penurunan torsi fleksi siku dapat digunakan sebagai indikator objektif dalam mengidentifikasi muscle fatigue pada serial dumbbell bicep curl.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Agasta, I. M., Hidayat, S., & Ariani, N. L. P. T. (2023). Hubungan antara kekuatan otot perut, kekuatan otot lengan, dan kekuatan otot tungkai terhadap kemampuan smash bola voli. *Jurnal Pendidikan Kepelatihan Olahraga Undiksha*, 12(1). <https://doi.org/10.23887/jipko.v12i1.61946>
- Asadi Dereshgi, H. (2023). Investigating the biomechanics of the biceps brachii muscle during dumbbell curl exercise: A comprehensive approach. *European Mechanical Science*, 7(4), 209–219.
- Carzoli, J. P., Sousa, C. A., Helms, E. R., & Zourdos, M. C. (2022). Agreement between Kinovea video analysis and the open barbell system for resistance training movement outcomes. *Journal of Human Kinetics*, 81(1), 27–39.
- Coratella, G., Tornatore, G., Longo, S., Toninelli, N., Padovan, R., Esposito, F., & Cè, E. (2023). Biceps brachii and brachioradialis excitation in biceps curl exercise: Different handgrips, different synergy. *Sports*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/sports11030064>
- Grimes, J. K., Costa, D., Scarry, M., Miraglia, R., Philippon, Z., & Mesimeris, D. (2024). Comparison of biceps brachii activation during an isometric curl using offset loads. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 56(10S). <https://doi.org/10.1249/01.mss.0001053244.50962.ee>
- Kostek, M. (2023). *Medical biochemistry* (pp. 585–598). Elsevier.
- Li, Z., Wang, X., Li, Q., Wang, F., & Tao, X. (2025). Muscle fatigue identification and prediction in motion using wearable device with power and torque-based features. *Wearable Electronics*, 2, 62–68.
- Liao, F., Zhang, X., Cao, C., Hung, I. Y. J., Chen, Y., & Jan, Y. K. (2021). Effects of muscle fatigue and recovery on complexity of surface electromyography of biceps brachii. *Entropy*, 23(8).
- Manpreet, T., Charlick, M., & Varacallo, M. (2024, January 30). Anatomy, shoulder and upper limb, biceps muscle. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Miller, M., & Thompson, S. (2020). *DeLee, Drez, & Miller's orthopaedic sports medicine* (5th ed., pp. 62–73). Elsevier.
- Nugroho, R. A., & Yuliandra, R. (2021). Analisis kemampuan power otot tungkai pada atlet bola basket. *Sport Science and Education Journal*, 2(1). <https://doi.org/10.33365/ssej.v2i1.988>
- Ortega, D. G., Housh, T. J., Smith, R. W., Arnett, J. E., Neltner, T. J., Anders, J. P. V., Johnson, G. O., Housh, D. J., & Schmidt, R. J. (2023). Fatiguing joint angle does not influence torque and neuromuscular responses following sustained, isometric forearm flexion tasks anchored to perceptual intensity in men. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8(3).
- Pichierri, I., Vismara, V., Cassin, S., Luceri, F., Randelli, P. S., & Arrigoni, P. (2025). Supination peak torque after inlay versus onlay distal biceps reinsertion: A randomized controlled trial. *Journal of Hand Surgery*, 50(6), 670–676.
- Rahayu, H. U. M., & Permana, D. F. W. (2022). Hubungan kekuatan otot tungkai dan kekuatan otot lengan pada kemampuan power lay-up. *Sriwijaya Journal of Sport*, 1(3). <https://doi.org/10.55379/sjs.v1i3.360>

- Serbest, K. (2022). A biomechanical analysis of dumbbell curl and investigation of the effects of increasing loads on biceps brachii using a finite element model. *Academic Perspective Procedia*, 5(3). <https://doi.org/10.33793/acperpro.05.03.9917>
- Smith, R. W., Housh, T. J., Anders, J. P. V., Neltner, T. J., Arnett, J. E., Ortega, D. G., Johnson, G. O., Housh, D. J., & Schmidt, R. J. (2022). Torque and neuromuscular responses are not joint angle dependent during a sustained, isometric task anchored to a high perceptual intensity. *American Journal of Sports Science and Medicine*, 10(2), 29–39.
- Snoeck, O., Coupier, J., Beyer, B., Salvia, P., Lefèvre, P., Van Sint Jan, S., Rooze, M., & Feipel, V. (2021). The biomechanical role of the lacertus fibrosus of the biceps brachii muscle. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 43(10). <https://doi.org/10.1007/s00276-021-02739-0>
- Sulistiadinata, H., & Aditya, M. Y. (2021). Pengaruh latihan kekuatan otot lengan terhadap kemampuan smash dalam permainan bola voli. *JPOE*, 3(1). <https://doi.org/10.37742/jpoe.v3i1.96>