

**PERBEDAAN VO₂ MAX DAN KEKUATAN OTOT PUNGGUNG PADA
ATLET PRESTASI PON XXI 2024 PROVINSI LAMPUNG
OLAHRAGA BELA DIRI DENGAN
PERMAINAN BOLA KECIL**

(Skripsi)

**Oleh
SORAYA FARHATI
2118011081**



**FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**PERBEDAAN VO₂ MAX DAN KEKUATAN OTOT PUNGGUNG PADA
ATLET PRESTASI PON XXI 2024 PROVINSI LAMPUNG
OLAHRAGA BELA DIRI DENGAN
PERMAINAN BOLA KECIL**

Oleh

SORAYA FARHATI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEDOKTERAN**

Pada

**Program Studi Pendidikan Dokter
Fakultas Kedokteran Universitas Lampung**



**FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi : **PERBEDAAN VO2 MAX DAN KEKUATAN OTOT PUNGGUNG PADA ATLET PRESTASI PON XXI 2024 PROVINSI LAMPUNG OLAHRAGA BELA DIRI DENGAN PERMAINAN**

Nama Mahasiswa : **Soraya Farhati**

No. Pokok Mahasiswa : **2118011081**

Program Studi : **Pendidikan Dokter**

Fakultas : **Kedokteran**



1. **Komisi Pembimbing**


Dr. dr. Khairun Nisa Berawi, M.Kes., AIFO-K.
NIP. 197402262001122002


Suryani Agustina Daulay, S.Tr.Keb, M.K.M.
NIP. 199408252023212037

MENGETAHUI

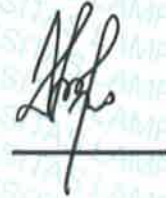
2. **Dekan Fakultas Kedokteran**


Dr. dr. Evi Kurniawaty, M.Sc.
NIP. 197601202003122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

**Ketua : Dr. dr. Khairun Nisa Berawi,
M.Kes., AIFO-K.**



**Sekretaris : Suryani Agustina Daulay,
S.Tr.Keb, M.K.M.**



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. dr. TA Larasati, M.Kes.,
Sp. KKLK., FISCM, FISPH.**



2. Dekan Fakultas Kedokteran



Dr. dr Evi Kurniawaty, M.Sc.
NIP. 197601202003122001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 23 Januari 2025

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi dengan judul **"Perbedaan VO₂ Max dan Kekuatan Otot Punggung pada Atlet Prestasi PON XXI 2024 Provinsi Lampung Olahraga Bela Diri dengan Permainan Bola Kecil"** adalah hasil karya saya sendiri dan tidak melakukan penjiplakan atas karya penulis lain dengan cara tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam akademik atau yang dimaksud dengan plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya.

Bandar Lampung, 8 Februari 2025

Pembuat pernyataan,



Soraya Farhati

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Cilegon, Banten tanggal 25 Februari 2004 dari orang tua Ibu Ratu Nispiatin Hilaliah dan Bapak Drs. Zainal Muttaqien, M.M. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis memulai pendidikan dasarnya di SD YPWKS IV, lalu melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Cilegon. Penulis kemudian menempuh pendidikan menengah atas di SMAN CMBBS Provinsi Banten dan melanjutkan kuliah di Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran Universitas Lampung mulai tahun 2021.

Selama berkuliah di Fakultas Kedokteran Universitas Lampung, penulis aktif dalam beberapa organisasi. Penulis merupakan bagian dari Asisten Dosen Fisiologi tahun 2023-2024 dan menjadi Staf Dinas Eksternal, Minat, dan Bakat BEM FK Unila tahun 2022-2024.

*Catatan kecil mengenai
perjuanganku dalam
menuntaskan kewajibanku.
Untuk Papa, Mama, dan
Tete, inilah persembahanku
untukmu.*

*"Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.
Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan"
(Al-Insyirah : 5-6)*

SANWACANA

Alhamdulillah, puji Syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Azza Wa Jalla karena atas Rahmat dan Ridho-Nya masih diberi nikmat sehat dan kesempatan, sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi berjudul **Perbedaan VO₂ Max dan Kekuatan Otot Punggung pada Atlet Prestasi PON XXI 2024 Provinsi Lampung Olahraga Bela Diri dengan Permainan Bola Kecil**. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai persyaratan kelulusan Sarjana Kedokteran pada Fakultas Kedokteran Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini dapat diselesaikan karena dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, baik langsung dan tidak langsung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. dr. Evi Kurniawaty, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Lampung.
3. Dr. dr. Khairun Nisa Berawi, M.Kes., AIFO-K, sebagai Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan waktu, perhatian, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
4. Ibu Suryani Agustina Daulay, S.Tr.Keb., M.K.M. sebagai Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan waktu, perhatian, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
5. Dr. dr. TA Larasati, M.Kes., Sp.KKLP., FISPH, FISC.M. sebagai Dosen Pembahas, yang telah memberikan saran, masukan, dan perbaikan demi kesempurnaan skripsi ini.
6. dr. Putu Ristyaning Ayu Sangging, S.Ked., M.Kes., Sp.PK., sebagai Dosen Pembimbing Akademik, yang telah memberikan nasihat yang bermanfaat bagi penulis.

7. Seluruh dosen dan civitas akademika Fakultas Kedokteran Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan dan ilmu yang bermanfaat.
8. Papa Zainal Muttaqien, Mama Ratu Nispiatin Hilaliah, dan Tete Zara Shafira yang tiada henti berdoa dan memberikan dorongan untuk kesuksesan penulis.
9. Nanda Nurrohim Akuba, yang telah menjadi teman berkeluh kesah dan bertukar pikiran selama penulis menjalankan studinya di Universitas Lampung.
10. Sahabat-sahabat penulis, Dita, Ria, dan Riva, yang mendukung penulis di setiap langkah dalam menyelesaikan studinya.
11. Teman-teman CSLAY, Dafa, Cahya, Mabhruka, Nabila, Farin, Nanda, Ariq, Arlin, Kamila, Karina, dan Rifqi, yang telah menjadi teman seperjuangan penulis di Fakultas Kedokteran Universitas Lampung.
12. Adin Maulana dan teman-teman 4ORTA, yang telah memberikan semangat dan doa kepada penulis dalam menyelesaikan studinya.
13. Teman-teman seperbimbingan penulis, Talitha, Ezekial, dan Ghaza, yang telah membantu penulis selama penelitian.
14. Teman-teman BEM FK Unila, serta Asisten Dosen fisiologi 2022/2023 dan 2023/2024 yang telah memberikan pengalaman baru untuk terus bertumbuh dan berkembang.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama menjalankan studinya di Fakultas Kedokteran Universitas Lampung.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini dan mengharapkan kritik/saran demi kebaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Bandar Lampung, 8 Februari 2025

Penulis

Soraya Farhati

ABSTRACT

DIFFERENCES OF VO₂ MAX AND BACK MUSCLE STRENGTH IN ATHLETES FROM LAMPUNG PROVINCE COMPETING IN PON XXI 2024'S MARTIAL ARTS AND SMALL BALL GAMES

By

SORAYA FARHATI

Background: VO₂ max can improved through aerobic exercise, while back muscle strength is through anaerobic exercise. Martial arts use anaerobic energy system predominantly, while small ball games use both. The aim of this study is to determine the differences of VO₂ max and back muscle strength in martial arts and small ball games athletes.

Methods: This is an analytical observational cross-sectional research. The population consists of 77 athletes competing in PON XXI 2024's martial arts and small ball games. The sampling technique is using total sampling. Data was collected by using bleep test and back and leg dynamometer. Data were analyzed by Mann-Whitney test.

Results: The average of VO₂ max in martial arts and small ball games athletes both equals at 44.39 ml/kg/min. However, the average of back muscle strength in martial arts athletes is higher than small ball games athletes, at 129.73 kg.

Conclusion: There is no difference of VO₂ max between martial arts and small ball games athletes ($p = 0.967$). There is a significant difference of back muscle strength between martial arts and small ball games athletes ($p = 0.003$).

Keywords: VO₂ Max, Back Muscle Strength, Martial Arts, Small Ball Games

ABSTRAK

PERBEDAAN VO₂ MAX DAN KEKUATAN OTOT PUNGGUNG PADA ATLET PRESTASI PON XXI 2024 PROVINSI LAMPUNG OLAHRAGA BELA DIRI DENGAN PERMAINAN BOLA KECIL

Oleh

SORAYA FARHATI

Latar Belakang: VO₂ max dapat ditingkatkan dengan olahraga aerobik, sedangkan kekuatan otot punggung dengan olahraga anaerobik. Olahraga bela diri dominan bersistem energi anaerobik, sedangkan olahraga permainan bola kecil menggunakan keduanya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perbedaan VO₂ max dan kekuatan otot punggung pada atlet olahraga bela diri dengan permainan bola kecil.

Metode: Desain penelitian menggunakan observasional analitik rancangan *cross sectional*. Populasi merupakan atlet prestasi PON XXI 2024 olahraga bela diri dan permainan bola kecil berjumlah 77 orang. Teknik *sampling* yang digunakan adalah *total sampling*. Pengambilan data menggunakan *bleep test* dan *back and leg dynamometer*. Data dianalisis dengan uji *Mann-Whitney*.

Hasil: Rerata nilai VO₂ max atlet olahraga bela diri dan permainan bola kecil adalah sama yaitu 44.39 ml/kg/menit. Rerata nilai kekuatan otot punggung atlet olahraga bela diri lebih besar dari permainan bola kecil, yaitu 129.73 kg.

Simpulan: Tidak terdapat perbedaan VO₂ max antara atlet olahraga bela diri dengan atlet olahraga permainan bola kecil ($p = 0.967$). Terdapat perbedaan kekuatan otot punggung antara atlet olahraga bela diri dengan atlet olahraga permainan bola kecil ($p = 0.003$).

Kata Kunci: VO₂ Max, Kekuatan Otot punggung, Bela Diri, Permainan Bola Kecil

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan.....	5
1.3.1 Tujuan Umum	5
1.3.2 Tujuan Khusus.....	5
1.4 Manfaat	5
1.4.1 Bagi Institusi	5
1.4.2 Bagi Ilmu Pengetahuan	5
1.4.3 Bagi Peneliti	6
1.4.4 Bagi Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Lampung.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Olahraga Bela Diri	7
2.1.1 Gulat	7
2.1.2 Hapkido	8
2.1.3 Muay Thai	8
2.1.4 Tarung Derajat.....	9
2.1.5 Wushu.....	9
2.1.6 Judo	10
2.1.7 Karate	10
2.1.8 Kurash	10
2.1.9 Sambo.....	11
2.1.10 Pencak Silat.....	11
2.2 Olahraga Permainan Bola Kecil.....	12
2.2.1 Kriket.....	12
2.2.2 Baseball	13
2.2.3 Softball	13
2.3 VO ₂ Max	14
2.3.1 Definisi VO ₂ Max.....	14
2.3.2 Faktor-Faktor yang Memengaruhi VO ₂ max.....	14
2.3.3 Metode Pengukuran VO ₂ max.....	17
2.4 Kekuatan Otot Punggung	21
2.4.1 Definisi Kekuatan Otot Punggung	21

2.4.2 Anatomi Punggung.....	22
2.4.3 Fisiologi Otot	28
2.4.4 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kekuatan Otot.....	31
2.4.5 Metode Pengukuran Kekuatan Otot Punggung.....	32
2.5 Pengaruh Latihan Olahraga terhadap Sistem Tubuh.....	33
2.5.1 Sistem Kardiovaskular	33
2.5.2 Sistem Imun.....	34
2.5.3 Sistem Endokrin	35
2.6 Pengaruh Olahraga terhadap VO ₂ max dan Kekuatan Otot Punggung.....	36
2.7 Kerangka Teori.....	42
2.8 Kerangka Konsep	43
2.9 Hipotesis.....	43
BAB III METODE PENELITIAN	44
3.1 Desain Penelitian.....	44
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	44
3.2.1 Waktu Penelitian.....	44
3.2.2 Tempat Penelitian	44
3.3 Populasi dan Sampel	44
3.3.1 Populasi Penelitian	44
3.3.2 Sampel Penelitian.....	45
3.3.3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi.....	49
3.4 Variabel Penelitian	49
3.4.1 Variabel Independen.....	49
3.4.2 Variabel Dependen	50
3.5 Definisi Operasional.....	50
3.6 Prosedur Penelitian.....	51
3.7 Alur Penelitian	52
3.8 Pengolahan dan Analisis Data.....	53
3.9 Etika Penelitian	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
4.1 Hasil Penelitian	54
4.1.1 Analisis Univariat.....	54
4.1.2 Uji Normalitas	56
4.1.3 Uji Homogenitas	57
4.1.4 Analisis Bivariat	57
4.2 Pembahasan.....	58
4.2.1 Perbedaan VO ₂ Max antara Atlet Olahraga Bela Diri dengan Permainan Bola Kecil.....	58
4.2.2 Perbedaan Kekuatan Otot Punggung antara Atlet Olahraga Bela Diri dengan Permainan Bola Kecil.....	61
4.3 Keterbatasan Penelitian.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Konversi <i>Level</i> ke <i>Shuttle</i>	18
2. Norma Standarisasi Kemampuan VO ₂ Max pada Laki-Laki	18
3. Norma Standarisasi Kemampuan VO ₂ Max pada Perempuan	19
4. Origo, Insersio, Fungsi, dan Inervasi Otot-Otot Punggung	26
5. Interpretasi Kekuatan Otot Punggung pada Laki-Laki	33
6. Interpretasi Kekuatan Otot Punggung pada Perempuan	33
7. Penelitian Terdahulu.....	40
8. Definisi Operasional.....	50
9. Karakteristik Subjek.....	54
10. Analisis Univariat VO ₂ Max	55
11. Analisis Univariat Kekuatan Otot Punggung	55
12. Uji Normalitas Data	56
13. Uji Normalitas Data Transformasi	56
14. Uji Homogenitas Data.....	57
15. Uji Homogenitas Data Transformasi.....	57
16. Analisis Bivariat Nilai VO ₂ Max.....	58
17. Analisis Bivariat Nilai Kekuatan Otot Punggung	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Anatomi Os. Vertebra	22
2. Anatomi Otot Punggung	25
3. Kerangka Teori	42
4. Kerangka Konsep	43
5. Alur Penelitian.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengukuran.....	79
Lampiran 2. Lembar Informed Consent.....	81
Lampiran 3. Hasil SPSS.....	82
Lampiran 4. Persetujuan Etik.....	85
Lampiran 5. Sertifikat Kalibrasi.....	86
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian.....	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Olahraga merupakan salah satu faktor penting yang dapat meningkatkan kualitas hidup manusia (Rohmah & Muhammad, 2021). Olahraga termasuk bentuk aktivitas fisik yang pelaksanaannya berupa melakukan gerakan yang berulang-ulang secara terencana dan terstruktur. Olahraga dapat membantu tubuh untuk menyesuaikan kalori yang keluar dan masuk ke dalam tubuh dengan membakarnya untuk dijadikan sebagai energi, sehingga dapat menjaga kondisi tubuh tetap prima (Fabio & Kartiko, 2022). Olahraga memiliki banyak manfaat, di antaranya yaitu untuk meningkatkan kesehatan, untuk tujuan pendidikan, sebagai hiburan atau rekreasi, serta sebagai sarana untuk meraih prestasi (Hikmah & Hafidz, 2023). Ada banyak pertandingan olahraga yang diselenggarakan saat ini, baik di tingkat nasional maupun internasional, salah satu contohnya adalah Pekan Olahraga Nasional (PON) yang diadakan oleh Komite Olahraga Nasional Indonesia (KONI) (Tampubolon & Widyatmoko, 2010). Peserta pertandingan olahraga seperti PON biasanya merupakan seorang olahragawan yang disebut sebagai atlet (Arifin & Wahyudi, 2021).

Atlet yang telah mencapai sebuah penghormatan atau penghargaan dalam suatu kompetisi olahraga yang berupa medali, rekor atau penghargaan lainnya disebut dengan atlet prestasi. Prestasi ini merupakan hasil dari usaha dan kerja keras yang disertai dengan pengerahan kemampuan atlet semaksimal mungkin, baik saat latihan maupun bertanding (Arifin & Wahyudi, 2021). Atlet yang mengikuti PON XXI 2024 dari Provinsi Lampung merupakan atlet prestasi

yang telah mengikuti seleksi pada tingkat kabupaten, kota, dan provinsi. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan bagi seorang atlet dalam menunjang performa saat pertandingan untuk meraih prestasi, di antaranya memiliki kemampuan teknik, strategi, dan taktik yang baik, serta kondisi fisik yang optimal. Kondisi fisik terdiri dari kekuatan otot, daya tahan kardiorespirasi, daya tahan otot, kecepatan, kelincahan, kelenturan (Prima & Kartiko, 2021). Kondisi fisik dapat ditingkatkan dengan latihan fisik. Latihan harus dilakukan secara terus-menerus, berkesinambungan, serta progresif. Program latihan perlu diperhatikan frekuensi, intensitas, serta durasi waktunya sesuai dengan kondisi atlet. Intensitas latihan merujuk kepada seberapa berat program latihan yang dilakukan oleh atlet. Intensitas latihan ini akan berpengaruh terhadap sistem pembentukan energi saat beraktivitas fisik. Apabila jumlah oksigen dalam tubuh tidak mencukupi untuk proses pembentukan energi, maka sistem energi akan beralih menjadi anaerobik, yaitu dari kreatin fosfat atau glikolisis anaerobik (Bafirman & Sepdanius, 2023).

Kadar oksigen dalam tubuh yang optimal dapat diraih dengan memiliki daya tahan kardiorespirasi yang baik, sehingga atlet dapat mempertahankan performanya selama pertandingan (Pristianto *et al.*, 2022). Daya tahan kardiorespirasi seseorang dapat diwakili oleh nilai VO_2 max. VO_2 max dapat ditingkatkan dengan latihan olahraga yang sistem energinya bersifat aerobik (Marsuna *et al.*, 2024). Olahraga bersistem energi aerobik biasanya berintensitas sedang, gerakannya bersifat kontinyu, dan tidak terfokus pada kekuatan, serta durasinya lebih dari tiga menit (Saptono *et al.*, 2021). Hal ini diperkuat oleh hasil dari beberapa penelitian yang menemukan bahwa peningkatan VO_2 max dapat dicapai oleh olahraga aerobik yang dilakukan secara teratur (Hafnita, 2024; Hutajulu *et al.*, 2020; Widiatmika *et al.*, 2024). Penting bagi seorang atlet untuk memiliki nilai VO_2 max tinggi agar tidak mudah lelah saat melakukan pertandingan (Wibowo *et al.*, 2019). Nilai VO_2 max yang baik juga diperlukan untuk meningkatkan daya tahan otot saat mengerahkan kekuatan otot secara optimal, sehingga kinerja otot akan semakin baik jika banyak oksigen yang dapat diserap oleh tubuh (Aliman *et al.*, 2023).

Kekuatan otot menjadi salah satu modalitas bagi atlet untuk melakukan gerakan yang diperlukan di suatu cabang olahraga tertentu. Kekuatan otot dipengaruhi oleh jumlah serat otot yang berkontraksi. Semakin banyak serat otot yang berkontraksi, maka semakin besar pula tegangan atau gaya yang dihasilkan. Sel-sel otot yang berkontraksi membutuhkan oksigen untuk membentuk *adenosine triphosphate* (ATP). Semakin banyak sel otot yang berkontraksi, maka semakin banyak oksigen yang diperlukan. Otot yang memiliki banyak serat otot biasanya merupakan otot besar. Otot besar dapat ditemukan di daerah lengan, kaki, dan juga punggung (Nasrulloh & Wicaksono, 2020). Otot punggung merupakan salah satu bagian tubuh yang paling penting karena berfungsi sebagai penyangga batang tubuh (Studnicka & Ampat, 2023). Kekuatan otot punggung atlet perlu dilatih agar terhindar dari cedera saat pertandingan karena hampir seluruh cabang olahraga menggunakan kekuatan otot punggung sebagai tumpuan (Setiadi *et al.*, 2023). Kekuatan otot punggung dapat ditingkatkan dengan olahraga bersistem energi anaerobik (Xiao *et al.*, 2023). Studi menemukan bahwa olahraga bersistem energi anaerobik seperti latihan *plank*, *dynamic back extension training*, dan *core stability training* dapat meningkatkan kekuatan otot punggung secara signifikan (Choi *et al.*, 2019; Yaprak, 2013; Xu *et al.*, 2024)

Menurut Tampubolon & Widyatmoko (2010) terdapat 66 cabang olahraga yang ada di Indonesia, di antaranya terdapat olahraga yang cukup populer, yaitu olahraga bela diri dan permainan bola kecil. Pada PON XXI 2024, Provinsi Lampung turut berpartisipasi dalam 32 cabang olahraga yang di antaranya termasuk ke dalam kelompok olahraga bela diri dan olahraga permainan bola kecil. Ada beberapa cabang olahraga yang termasuk ke dalam olahraga bela diri, yaitu hapkido, muay thai, judo, tarung derajat, karate, sambo, dan silat (Nabillah *et al.*, 2022). Komponen gerakan yang terdapat di dalam olahraga bela diri di antaranya yaitu, pukulan, tendangan, elakan, kuncian, dan lain-lain (Pasha & Hamdani, 2021). Pelaksanaan olahraga bela diri secara keseluruhan memerlukan ledakan energi dalam waktu cepat untuk menghasilkan kekuatan otot yang sangat besar. Energi yang dihasilkan secara cepat biasanya melibatkan

kreatin fosfat dalam proses pembentukannya. Oleh karena itu, olahraga bela diri termasuk ke olahraga yang didominasi oleh sistem energi anaerobik (Saptono *et al.*, 2021).

Olahraga permainan bola kecil menggunakan bola kecil dan tongkat pemukul sebagai media permainannya. Olahraga permainan bola kecil dilakukan oleh dua kelompok atau regu yang saling bertanding untuk mendapatkan skor sesuai dengan aturan yang berlaku. Adapun beberapa contoh olahraga permainan bola kecil antara lain kriket, *baseball*, dan *softball*. Teknik dasar yang ada di olahraga permainan bola kecil, yaitu memegang bola, melempar bola, menangkap bola, memegang tongkat pemukul, memukul bola, serta berlari (Nugroho *et al.*, 2024). Olahraga permainan bola kecil menggunakan kedua sistem energi, yaitu aerobik dan anaerobik. Sistem energi aerobik digunakan untuk melakukan pertandingan dalam durasi waktu yang lama, sedangkan sistem anaerobik digunakan saat melakukan teknik memukul bola, melempar bola, dan berlari mengejar bola karena gerakan-gerakan tersebut memerlukan ledakan energi secara cepat untuk menghasilkan kontraksi otot yang kuat (Saptono *et al.*, 2021).

Berdasarkan teknik-teknik dasar yang ada di olahraga bela diri dan olahraga permainan bola kecil, kekuatan otot punggung menjadi salah satu faktor penting dalam olahraga tersebut. Kekuatan otot punggung dapat menjaga stabilitas tubuh atlet saat bertanding (Studnicka & Ampat, 2023). Selain itu, baik atlet bela diri maupun atlet olahraga memerlukan nilai VO_2 max yang optimal agar tidak mudah lelah saat melakukan pertandingan (Aliman *et al.*, 2023). Berdasarkan kepentingan tersebut, peneliti tertarik untuk mengetahui perbedaan VO_2 max dan kekuatan otot punggung pada atlet prestasi PON XXI 2024 dari Provinsi Lampung untuk olahraga bela diri dengan permainan bola kecil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini yaitu apakah terdapat perbedaan VO_2 max dan kekuatan otot punggung pada atlet prestasi PON XXI 2024 Provinsi Lampung olahraga bela diri dengan permainan bola kecil.

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan VO_2 max dan kekuatan otot punggung pada atlet prestasi PON XXI 2024 Provinsi Lampung olahraga bela diri dengan permainan bola kecil.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Mengetahui perbedaan nilai VO_2 max pada atlet prestasi PON XXI 2024 Provinsi Lampung olahraga bela diri dengan permainan bola kecil.
2. Mengetahui perbedaan nilai kekuatan otot punggung pada atlet prestasi PON XXI 2024 Provinsi Lampung olahraga bela diri dengan permainan bola kecil.

1.4 Manfaat

1.4.1 Bagi Institusi

Menambah referensi ilmu pengetahuan terbaru bagi Fakultas Kedokteran Universitas Lampung.

1.4.2 Bagi Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber kepustakaan ilmiah mengenai perbedaan VO_2 max dan kekuatan otot punggung pada atlet prestasi PON XXI 2024 Provinsi Lampung olahraga bela diri dan permainan bola kecil.

1.4.3 Bagi Peneliti

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengalaman dan wawasan bagi peneliti mengenai perbedaan VO_2 max dan kekuatan otot punggung pada atlet prestasi PON XXI 2024 Provinsi Lampung olahraga bela diri dengan permainan bola kecil.

1.4.4 Bagi Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Lampung

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Lampung mengenai perbedaan VO_2 max dan kekuatan otot punggung pada atlet prestasi PON XXI 2024 Provinsi Lampung olahraga bela diri dengan permainan bola kecil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Olahraga Bela Diri

Olahraga bela diri merupakan salah satu cabang olahraga yang komponen gerakannya berdasarkan teknik-teknik bertarung yang dikombinasikan dengan strategi, filosofi, tradisi, dan aspek lain yang membedakannya dengan pertarungan tanpa aturan baku. Olahraga bela diri tersebar di penjuru dunia dengan ciri khas yang berbeda-beda di setiap daerah. Contoh olahraga bela diri yaitu gulat, hapkido, muay thai, tarung derajat, wushu, judo, karate, kurash, sambo, dan pencak silat. Olahraga bela diri memiliki beberapa teknik dasar seperti pukulan, tendangan, bantingan, cekikan, kuncian, dan cengkeraman (Lee & Lauwaert, 2021). Ada beberapa komponen kondisi fisik yang harus dimiliki seorang atlet untuk melakukan teknik-teknik dasar tersebut, salah satunya adalah kekuatan otot punggung (Syukriadi *et al.*, 2021). Kekuatan otot punggung digunakan saat menopang tubuh lawan ketika hendak melakukan bantingan (Martiani, 2018). Sistem energi anaerobik diperlukan untuk menciptakan ledakan energi yang cepat menggunakan kreatin fosfat, sehingga dapat menghasilkan kekuatan otot punggung yang optimal (Saptono *et al.*, 2021). Kekuatan otot punggung juga berguna untuk menstabilkan tubuh saat melakukan teknik tendangan (Jeknić *et al.*, 2022).

2.1.1 Gulat

Olahraga gulat merupakan olahraga yang dilakukan oleh dua orang. Tujuan olahraga gulat yaitu untuk menjatuhkan lawan dengan menyerang satu sama lain (Ningsih & Jatmiko, 2021). Kompetisi gulat terdiri dari

beberapa kategori yaitu U15 (14-15 tahun), kadet (16-17 tahun), junior (18-20 tahun), senior U23 (19-23 tahun), senior (20 tahun atau lebih), dan veteran (35 tahun atau lebih). Pertandingan kategori U15, kadet, dan veteran terdiri dari dua ronde dengan durasi masing-masing ronde adalah 2 menit dan terdapat waktu istirahat sekitar 30 detik di antara dua ronde. Pertandingan kategori junior, U23, dan senior terdiri dari dua ronde dengan durasi masing-masing ronde adalah 3 menit dan terdapat waktu istirahat selama 30 detik di antara dua ronde (UWW, 2020).

2.1.2 Hapkido

Hapkido adalah olahraga bela diri yang berasal dari Korea. Olahraga hapkido mengandalkan kekuatan untuk melakukan teknik-teknik dasar seperti bantingan, kunci, pukulan, dan tendangan (Cahyati *et al.*, 2020). Pertandingan hapkido dikategorikan berdasarkan warna sabuk, yaitu pemula (sabuk kuning dan sabuk kuning strip hijau), junior (sabuk hijau hingga sabuk biru), senior (sabuk biru strip merah hingga sabuk merah strip hitam), dan sabuk hitam (AHA, 2016). Batasan umur pada kategori junior yaitu kurang dari 18 tahun, sedangkan pada kategori senior yaitu 18 tahun atau lebih. Pertandingan junior terdiri dari dua ronde dengan durasi masing-masing ronde yaitu 1 menit, sedangkan pada pertandingan senior tiap ronde berdurasi 1.5 menit. Terdapat waktu istirahat sekitar 30 menit di antara dua ronde (IHC, 2023).

2.1.3 Muay Thai

Muay Thai adalah olahraga bela diri yang berasal dari Thailand. Teknik dasar dari olahraga ini hampir sama dengan olahraga bela diri pada umumnya, yaitu pukulan, tendangan, siku lengan, dan lutut. Tujuan dari olahraga ini yaitu saling menyerang untuk menjatuhkan lawan (Nasuha & Widodo, 2022). Pertandingan muay Thai dikategorikan menjadi senior (17-40 tahun), U23 (17-23 tahun), youth 16-17, youth 14-15, youth 12-13, dan youth 10-11. Setiap pertandingan terdiri dari tiga ronde dengan waktu istirahat selama satu menit di antara pergantian ronde. Durasi

pertandingan senior dan U23 yaitu 3 menit; youth 16-17 dan youth 14-15 yaitu 2 menit; youth 12-13 yaitu 1.5 menit; youth 10-11 yaitu 1 menit (IFMA, 2023).

2.1.4 Tarung Derajat

Tarung derajat merupakan salah satu olahraga bela diri yang berasal dari Indonesia. Olahraga tarung derajat mengkombinasikan aspek jasmani dan rohani saat melakukan gerakan. Tarung derajat dikategorikan menjadi tarung putra dan putri. Tiap kategori akan dibagi menjadi beberapa kelas berdasarkan berat badan (Azhari & Mardiana, 2018). Pertandingan tarung putra terdiri dari tiga ronde dengan durasi masing-masing ronde yaitu 3 menit dan terdapat waktu istirahat selama 1 menit di antara pergantian ronde. Pertandingan tarung derajat putri terdiri dari dua ronde dengan durasi masing-masing ronde yaitu 3 menit dan terdapat waktu istirahat di antara pergantian ronde selama 1 menit (POMNAS, 2019).

2.1.5 Wushu

Wushu merupakan olahraga bela diri yang berasal dari China. Olahraga wushu terdiri dari beberapa teknik dasar seperti pukulan, tendangan, menghindar, membanting, dan menghalangi (Hardyanti & Siantoro, 2022). Pertandingan wushu dibagi menjadi tiga kategori, yaitu senior (18-40 tahun), junior (15-17 tahun), dan anak (12-14 tahun). Setiap kategori akan dibagi lagi berdasarkan berat badan. Setiap pertandingan terdiri dari tiga ronde dengan durasi masing-masing ronde yaitu 2 menit pada kategori senior dan 1.5 menit pada kategori junior. Terdapat waktu istirahat selama 1 menit di antara pergantian ronde (IWUF, 2017).

2.1.6 Judo

Judo merupakan olahraga bela diri yang berasal dari Jepang. Tujuan utama dari olahraga ini hampir sama dengan olahraga bela diri lainnya yaitu menjatuhkan lawan (Trianingrum & Jatmiko, 2022). Pertandingan judo dibagi menjadi tiga kategori, yaitu kadet (15-17 tahun), junior (15-20 tahun), senior (15 tahun atau lebih), dan veteran (30 tahun atau lebih). Setiap kategori akan dibedakan berdasarkan jenis kelamin, kemudian dibagi berdasarkan berat badan. Pertandingan judo hanya terdiri dari satu ronde. Durasi setiap ronde yaitu sekitar 4 menit (IJF, 2020).

2.1.7 Karate

Karate merupakan olahraga bela diri yang berasal dari Jepang. Teknik dasar pada karate hampir sama seperti olahraga bela diri pada umumnya, yaitu pukulan dan tendangan. Namun, ada satu teknik dasar yang khas pada karate, yaitu kuda-kuda atau *dachi waza*. Kuda-kuda merupakan posisi atau sikap yang sesuai dengan teknik yang akan dilakukan (Andibowo *et al.*, 2021). Pertandingan karate dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu senior, di bawah 21 tahun, kadet, junior, dan di bawah 14 tahun. Durasi tiap kategori berbeda-beda. Waktu efektif pertandingan senior dan di bawah 21 yaitu 3 menit, kadet dan junior yaitu 2 menit, dan di bawah 14 tahun adalah 1.5 menit (WKF, 2024).

2.1.8 Kurash

Kurash merupakan olahraga bela diri yang berasal dari Uzbekistan (Faraby & Subagio, 2024). Teknik utama olahraga kurash adalah bantingan dengan tangan dan tidak boleh menggunakan kaki. Olahraga kurash memiliki aturan bahwa teknik hanya boleh dilakukan dalam posisi berdiri dan tidak boleh melakukan gerakan apapun saat posisi sudah di bawah (Juhanis *et al.*, 2023). Pertandingan kurash dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan usia, di antaranya yaitu anak (4-7 tahun), anak (8-11 tahun), anak (12-14 tahun), kadet (14-15 tahun), junior (16-

17 tahun), senior (18-35 tahun), dan veteran. Kategori veteran dibagi menjadi beberapa kelompok, yaitu kelompok umur 36-45 tahun, 46-55 tahun, 56-60 tahun, dan 61-65 tahun. Pertandingan kurash terdiri dari dua ronde dengan durasi setiap ronde sesuai dengan kategori pertandingan. Durasi pertandingan putra kategori anak usia 4-11 tahun yaitu 2 menit, anak 11-16 tahun yaitu 3 menit, junior dan senior yaitu 4 menit, veteran umur 36-56 tahun yaitu 3 menit, dan umur 57 tahun ke atas yaitu 2 menit. Durasi pertandingan putri kategori anak dan kadet yaitu 2 menit, junior dan senior yaitu 3 menit, dan veteran yaitu 2 menit (IKA, 2024).

2.1.9 Sambo

Olahraga sambo merupakan olahraga bela diri yang berasal dari Rusia (Arifin *et al.*, 2023). Pertandingan sambo dibagi menjadi dua, yaitu junior dan dewasa. Batas usia kategori junior adalah 18-20 tahun, sedangkan batas usia kategori dewasa adalah 19 tahun atau lebih. Setiap kategori akan dibagi menjadi beberapa kelompok sesuai berat badan. Pertandingan sambo terdiri dari tiga ronde. Durasi tiap ronde yaitu 5 menit. Terdapat waktu istirahat selama 10 menit setiap pergantian ronde (ISF, 2023).

2.1.10 Pencak Silat

Pencak silat merupakan olahraga bela diri yang berasal dari kepulauan Nusantara yang saat ini terbagi menjadi Indonesia, Malaysia, dan Filipina (Darmawan *et al.*, 2023). Pertandingan pencak silat dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu singa (3-6 tahun), macan (7-9 tahun) pre-teen (10-11 tahun), pre-junior (12-13 tahun), junior (14-16 tahun), senior (17-45 tahun), master A (46-60 tahun), dan master B (61 tahun atau lebih). Setiap kategori akan dibagi menjadi beberapa kelas berdasarkan berat badan. Pertandingan silat pada kategori singa, macan, *pre-teen*, *pre-junior*, junior, dan senior terdiri dari tiga ronde. Durasi pertandingan pada kategori singa, macan, dan *pre-teen* adalah 1.5 menit. Durasi pertandingan pada kategori *pre-junior*, junior, senior adalah 2 menit.

Pertandingan silat pada kategori master A dan master B terdiri dari dua ronde. Durasi pertandingan kategori master A yaitu 1.5 menit, sedangkan kategori master B yaitu 1 menit. Setiap pertandingan memiliki waktu istirahat saat pergantian ronde selama 1 menit (IPSF, 2022).

2.2 Olahraga Permainan Bola Kecil

Olahraga permainan bola kecil merupakan salah satu jenis olahraga yang menggunakan alat dalam pelaksanaannya, seperti bola dan alat pemukul. Alat pemukul dapat berupa tongkat, stik, atau raket. Contoh olahraga permainan bola kecil yaitu *baseball*, kriket, *softball*, bulu tangkis, tenis, dan lain-lain (Kasidu *et al.*, 2021). Ada beberapa teknik dasar pada olahraga permainan bola kecil, di antaranya yaitu memegang bola, melempar bola, menangkap bola, memegang tongkat pemukul, memukul bola, serta berlari (Nugroho *et al.*, 2024). Ada beberapa komponen fisik yang diperlukan untuk melakukan teknik-teknik dasar pada olahraga permainan bola kecil, di antaranya adalah kecepatan, fleksibilitas, dan kekuatan otot terutama punggung dan tungkai. Kecepatan dan fleksibilitas digunakan ketika berlari selama bermain. Kekuatan otot punggung berperan penting untuk mengurangi risiko terjadinya cedera (Dahikar *et al.*, 2020). Sistem energi aerobik dan anaerobik digunakan dalam olahraga permainan bola kecil. Sistem energi aerobik dapat membantu meningkatkan performa atlet untuk melakukan pertandingan dalam durasi yang relatif lama, sedangkan sistem energi anaerobik digunakan saat melakukan gerakan yang memerlukan ledakan energi yang cepat untuk menghasilkan kontraksi otot yang kuat, seperti memukul bola, melempar bola, dan berlari mengejar bola (Saptono *et al.*, 2021).

2.2.1 Kriket

Olahraga kriket merupakan olahraga permainan bola kecil yang pertama kali dimainkan di Inggris. Olahraga kriket menggunakan bola, alat pemukul atau *bat*, dan stump sebagai media permainannya. Tujuan dari olahraga kriket adalah untuk mencetak poin atau *run* lebih banyak dari lawan. Adapun teknik dasar yang terdapat pada olahraga kriket adalah

memukul bola (*batting*), melempar bola (*bowling*), menjaga bola (*fielding*), menangkap bola (*catching*), dan menjaga *stump* (*wicket keeping*) (Ali & Yanto, 2022). Olahraga ini dimainkan oleh dua tim yang berisi 11 orang tiap tim. Pada format T20 setiap tim memiliki satu *inning* dengan batasan 20 *overs* (ICC, 2023).

2.2.2 Baseball

Olahraga *baseball* merupakan olahraga permainan bola kecil yang pertama kali dimainkan di Amerika Serikat. Olahraga *baseball* hampir mirip dengan olahraga *softball* dan kasti. Teknik dasar yang ada di olahraga ini yaitu melempar bola atau *throwing*, memukul bola atau *batting*, dan berlari atau *running* (Irawan & Chuang, 2019). Tujuan dari olahraga ini adalah untuk mencetak *run* atau skor lebih banyak dari tim lawan. Jumlah pemain dalam satu tim adalah 9 orang. Pertandingan *baseball* terdiri dari 9 *innings*. *Inning* berakhir jika terdapat tiga *batter* dari tim yang sama dikeluarkan (WBSC, 2023).

2.2.3 Softball

Olahraga *softball* merupakan olahraga permainan bola kecil yang berasal dari Amerika Serikat. Olahraga *softball* merupakan modifikasi dari olahraga *baseball*. Olahraga *softball* menggunakan teknik-teknik dasar yang terdapat di olahraga ini yaitu memukul bola atau *batting*, melempar bola atau *throwing*, menangkap bola atau *catching*, meluncur atau *sliding*, dan berlari menuju *base* (Khakim, 2022). Olahraga *softball* dimainkan oleh dua tim dengan jumlah anggota yaitu 9 orang tiap tim. Pertandingan *softball* terdiri dari 7 *innings*. Tujuan dari olahraga ini adalah mencetak *run* lebih banyak dari lawan (WBSC, 2022).

2.3 VO₂ Max

2.3.1 Definisi VO₂ Max

VO₂ max merupakan jumlah asupan oksigen maksimal pada seseorang saat beraktivitas fisik (Buttar *et al.*, 2019). Menurut Wahyuni & Donie (2020) dalam literatur lain dijelaskan bahwa VO₂ max merupakan batas maksimal oksigen di dalam di tubuh manusia yang didapatkan dari pemberian beban/latihan dalam durasi yang cenderung lama. Studi menunjukkan bahwa VO₂ max berbanding lurus dengan kebugaran seseorang, sehingga semakin tinggi VO₂ max seseorang akan semakin tinggi pula tingkat kebugaran dari orang tersebut. Peningkatan kebugaran selanjutnya dapat mendukung kegiatan aktivitas fisik dengan optimal (Gantarialdha, 2021). VO₂ max juga berkontribusi terhadap daya tahan otot jantung dan sendi (Anggraini & Widodo, 2021). Nilai VO₂ max dapat dijadikan sebagai alat ukur fungsi paru, kardiovaskular, dan otot secara terintegrasi dalam mengambil, mentranspor, dan menggunakan oksigen untuk mendukung kontraksi otot. VO₂ max juga dapat dijadikan sebagai prediktor yang kuat terhadap kesehatan kardiovaskular. Maka dari itu, peningkatan nilai VO₂ max dapat menurunkan risiko penyakit kardiovaskular serta kematian, meski disertai dengan faktor risiko lainnya, seperti penuaan, hipertensi, diabetes, penggunaan rokok, dan obesitas (Crowley *et al.*, 2022).

2.3.2 Faktor-Faktor yang Memengaruhi VO₂ max

Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi nilai VO₂ max, yaitu :

a. Usia

Terdapat hubungan yang erat antara usia dengan nilai VO₂ max. Hal ini dikarenakan nilai VO₂ max dipengaruhi oleh kematangan organ kardiopulmonal. Maka dari itu, nilai VO₂ max pada anak-anak akan lebih rendah dibandingkan dengan nilai VO₂ max pada orang dewasa. Usia juga dapat memengaruhi aktivitas fisik seseorang. Salah satu contohnya adalah pada lansia yang aktivitas fisiknya semakin lama

semakin berkurang yang berdampak pada penurunan nilai VO_2 max (Wulandari, 2023).

b. Jenis Kelamin

Jenis kelamin dapat berpengaruh secara signifikan terhadap nilai VO_2 max setelah seseorang mencapai masa pubertas. Hal ini terjadi karena kebutuhan oksigen pria dewasa lebih besar dari wanita dewasa. Umumnya pria dewasa lebih banyak melakukan aktivitas fisik dibandingkan dengan wanita dewasa (Herawati *et al.*, 2023). Namun, jenis kelamin tidak terlalu berpengaruh pada nilai VO_2 max anak-anak. Hal ini karena tingkat kebugaran anak laki-laki dan anak perempuan hampir sama sebelum mencapai masa pubertas (Gantarialdha, 2021).

c. Indeks Masa Tubuh (IMT)

Indeks massa tubuh (IMT) adalah rasio berat badan yang dihitung sebagai berat badan dibagi dengan tinggi badan dalam meter kuadrat. IMT dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori, yaitu *underweight*, normal, *overweight*, atau obesitas (Kolimechkov & Petrov, 2020). Selain itu, IMT juga dapat dijadikan sebagai prediktor kondisi kesehatan seseorang yang sudah umum digunakan (Mulyasari *et al.*, 2023). Pada seseorang yang masuk ke dalam kategori obesitas kemungkinan besar terjadi penurunan fungsi organ kardiorespirasi. Selain itu, seseorang yang mengalami obesitas diduga terjadi perubahan pada beberapa tipe serat otot, yaitu peningkatan pada serat otot tipe II dan penurunan pada serat otot tipe I (Wulandari, 2023). Serat otot tipe I merupakan serat otot yang memiliki kecepatan kontraksi yang lambat, tetapi relatif lebih tahan terhadap kelelahan. Serat otot tipe I dapat juga disebut sebagai serat lambat. Serat otot tipe II merupakan serat otot yang memiliki kecepatan kontraksi yang lebih tinggi dari serat tipe I, tetapi tipe serat ini mudah mengalami kelelahan. Serat otot tipe II dapat disebut sebagai serat cepat (Plotkin

et al., 2021). Perubahan terhadap kedua jenis otot tersebut juga dapat mengubah jumlah oksigen yang diserap sehingga dapat mengganggu proses glukoneogenesis untuk pembentukan energi. Hal ini akan berdampak pada stamina orang yang mengalami obesitas sehingga mengurangi aktivitas fisik akibat mudah lelah (Wulandari, 2023).

d. Fungsi Organ Kardiorespirasi

Ketika tubuh melakukan aktivitas fisik dengan intensitas yang tinggi, diperlukan transpor dan penggunaan oksigen yang lebih tinggi pula. Proses ini didukung oleh sistem kardiovaskular yang meningkatkan denyut jantung untuk beradaptasi dengan keadaan ini. Namun, pada keadaan tertentu denyut jantung tidak dapat meningkat lebih tinggi, sehingga turut memengaruhi *intake* oksigen yang tidak lagi dapat ditingkatkan. Oleh karena itu, sistem kardiovaskular turut memengaruhi VO_2 max (Ibrahim & Bakti, 2020). Terdapat suatu penelitian yang membuktikan bahwa VO_2 max dipengaruhi oleh ekspansi dinding dada saat inhalasi. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa volume rongga dada saat berekspansi berbanding lurus dengan kapasitas vital paru. Kapasitas vital paru merupakan jumlah udara yang dapat diekspirasi setelah inspirasi maksimal. Peningkatan kapasitas vital paru bisa meningkatkan nilai VO_2 max (Na'ima & Jumiati, 2023).

e. Hemoglobin

Hemoglobin adalah suatu molekul yang terkandung di dalam sel darah merah. Hemoglobin terdiri dari turunan zat besi heme dan protein globulin. Fungsi utama hemoglobin adalah mengikat oksigen untuk ditranspor ke seluruh jaringan tubuh (Ahmed *et al.*, 2020). Apabila kadar hemoglobin dalam tubuh mengalami penurunan, maka cadangan darah dalam oksigen akan menurun dan distribusi oksigen ke jaringan akan terganggu. Ketika seseorang memiliki kadar hemoglobin yang rendah melakukan aktivitas fisik, asupan oksigen ke

otot rangka akan mengalami penurunan sehingga menyebabkan nilai VO_2 max ikut menurun (Wulandari *et al.*, 2022).

f. Kebiasaan Merokok

Penggunaan rokok dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan pada organ-organ tubuh manusia terutama paru-paru. Zat-zat berbahaya yang terkandung dalam rokok seperti nikotin, tar, dan karbon monoksida dapat memicu respon inflamasi. Hal ini dapat menyebabkan beberapa masalah seperti timbulnya fibrosis pada paru, hipertrofi otot polos pada saluran pernapasan, dan lain-lain (Natalia & Lontoh, 2019). Rusaknya organ paru akibat rokok juga dapat meningkatkan risiko terjadinya beberapa penyakit seperti pneumonia, Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK), dan kanker paru. Kerusakan organ paru juga dapat memengaruhi perubahan fisiologisnya yaitu menurunkan kapasitas vital paru, sehingga mengakibatkan penurunan pada *intake* oksigen maksimal yang dapat diperkirakan berdasarkan nilai VO_2 max (Tipa *et al.*, 2021).

2.3.3 Metode Pengukuran VO_2 max

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur nilai VO_2 max, diantaranya yaitu :

a. *Multistage Fitness Test (Bleep Test)*

Bleep test merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengukur kebugaran kardiorespirasi atlet. Pelaksanaan *bleep test* cukup mudah dan efektif karena hanya membutuhkan area yang tidak terlalu luas, serta dapat dilakukan secara massal. Ada beberapa hal yang diperlukan untuk melaksanakan *bleep test*, di antaranya yaitu meteran, *cone* pembatas, *audio bleep test*, lembar pencatat, serta petugas pemantau. *Bleep test* dilakukan di lintasan sepanjang 20 meter. *Bleep test* terdiri dari beberapa *level* yang terdiri dari beberapa *shuttle*. Setiap *level* akan ditandai dengan bunyi “*bleep*” sebanyak tiga kali dan setiap *shuttle* akan ditandai satu kali bunyi “*bleep*”. *Bleep test* dilakukan

dengan cara berlari bolak-balik di lintasan dan disesuaikan dengan bunyi “bleep”. Atlet harus menyentuh batas lintasan saat bunyi “bleep”. Jika atlet tidak dapat menyentuh batas lintasan sebanyak 2-3 *shuttle* berturut-turut, maka atlet tersebut tidak dapat melanjutkan *bleep test* dan hasilnya dicatat, lalu dikonversikan menjadi nilai VO₂ max. Rumus penghitungan VO₂ max yaitu:

$$\text{VO}_2 \text{ max (ml/kg/min)} = 18.043461 + (0.3689295 \times \text{TS}) + (-0.000349 \times \text{TS} \times \text{TS})$$

Keterangan:

TS: *Total Shuttle*

Estimasi kesalahan dari rumus ini yaitu 0.3 ml/kg/min (Marhaendro, 2020)

Tabel 1. Konversi *Level* ke *Shuttle*

Level	Shuttle	Level	Shuttle
1	8	12	119
2	16	13	132
3	24	14	145
4	33	15	158
5	42	16	172
6	52	17	186
7	62	18	201
8	73	19	216
9	84	20	232
10	95	21	248
11	107	22	264

Sumber: (Marhaendro, 2020)

Tabel 2. Norma Standarisasi Kemampuan VO₂ Max pada Laki-Laki

Usia	Sangat Kurang	Kurang	Cukup	Baik	Sangat Baik	Unggul
13-19	<35.0	35.0-38.3	38.4-45.1	45.2-50.9	51.0-55.9	>55.9
20-29	<33.0	33.0-36.4	36.5-42.4	42.5-46.4	46.5-52.4	>52.4
30-39	<31.5	31.5-35.4	35.5-40.9	41.0-44.9	45.0-49.4	>49.4
40-49	<30.2	30.2-33.5	33.6-38.9	39.0-43.7	43.8-48.0	>48.0
50-59	<26.1	26.1-30.9	31.0-35.7	35.8-40.9	41.0-45.3	>45.3
≥60	<20.5	20.5-26.0	26.1-32.2	32.3-36.4	36.5-44.2	>44.2

Sumber: (Abdulloh *et al.*, 2023)

Tabel 3. Norma Standarisasi Kemampuan VO₂ Max pada Perempuan

Usia	Sangat Kurang	Kurang	Cukup	Baik	Sangat Baik	Unggul
13-19	<25.0	25.0-30.9	31.0-34.9	35.0-38.9	39.0-41.9	>41.9
20-29	<23.6	23.6-28.9	29.0-32.9	33.0-36.9	37.0-41.0	>41.0
30-39	<22.8	22.8-26.9	27.0-31.4	31.5-35.6	35.7-40.0	>40.0
40-49	<21.0	21.0-24.4	24.5-28.9	29.0-32.8	32.9-36.9	>36.9
50-59	<20.2	20.2-22.7	22.8-26.9	27.0-31.4	31.5-35.7	>35.7
≥60	<17.5	17.5-20.1	20.2-24.4	24.5-30.2	30.3-31.4	>31.4

Sumber: (Abdulloh *et al.*, 2023)

b. Balke VO₂ max Test

Balke test dilakukan dengan cara berlari di lintasan sepanjang 400 meter dengan kecepatan optimal selama 15 menit. Ada beberapa hal yang diperlukan untuk melakukan tes ini, di antaranya yaitu lintasan lari, *stopwatch*, peluit, lembar pencatatan, serta petugas pemantau. Petugas akan memberikan perintah kepada atlet untuk memulai tes. Apabila durasi tes telah mencapai waktu 15 menit, petugas akan meniup peluit sebagai tanda waktu tes telah berakhir (Hermanto & Robianto, 2020). Jarak yang ditempuh oleh atlet akan dicatat, lalu dikonversikan menjadi nilai VO₂ max dengan rumus sebagai berikut:

$$VO_2 \text{ max (ml/kg/min)} = (((\text{Jarak tempuh lari} \div 15) - 133) \times 0,172) + 33,3$$

(Marhaendro, 2020)

c. Cooper VO₂ max test

Cooper test merupakan salah satu metode pengukuran VO₂ max yang cukup sederhana. *Cooper test* dilakukan dengan cara berlari di lintasan sepanjang 400 meter selama 12 menit. Ada beberapa hal yang diperlukan untuk melakukan tes ini, di antaranya yaitu lintasan lari, *stopwatch*, peluit, lembar pencatatan, serta petugas pemantau. Petugas akan memberikan perintah kepada atlet untuk memulai tes. Jika durasi berlari sudah mencapai waktu 12 menit, maka petugas akan membunyikan peluit sebagai tanda waktu tes telah selesai. Jarak tempuh atlet saat tes akan dicatat dan dikonversikan menjadi VO₂ max berdasarkan rumus berikut:

$VO_2 \text{ max (ml/kg/min)} = (\text{Jarak tempuh lari} - 504.9) \div 44.73$ (Setu & Annas, 2021)

d. *Queen College Step Test (QCST)*

Queen College Step Test (QCST) merupakan metode pengukuran $VO_2 \text{ max}$ yang dikembangkan oleh Queen College University. QCST dilakukan dengan cara naik turun bangku setinggi 41,3 cm selama 3 menit. Irama naik turun pada atlet pria yaitu 24 langkah per menit, sedangkan pada atlet wanita yaitu 22 langkah per menit. Ada beberapa hal yang perlu dipersiapkan untuk melakukan tes ini, diantaranya yaitu metronom untuk mengatur irama langkah, *stopwatch*, bangku setinggi 41.3 cm, lembar pencatatan, serta petugas pemantau (Nawawinetu & Lutfiya, 2020). Atlet akan beristirahat selama 5 detik setelah melakukan tes. Petugas dapat membantu atlet untuk mengukur denyut jantung selama 15 detik setelah beristirahat. Hasil pengukuran denyut jantung akan dikonversikan menjadi $VO_2 \text{ max}$ sesuai dengan jenis kelamin berdasarkan rumus berikut:

$VO_2 \text{ max (ml/kg/min) pria} = 111.33 - (1.68 \times \text{denyut nadi})$

$VO_2 \text{ max (ml/kg/min) wanita} = 65.81 - (0.7388 \times \text{denyut nadi})$
(Marhaendro, 2020)

e. *Rockport Walk Test*

Rockport walk test merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengukur kebugaran kardiorespirasi atlet. *Rockport walk test* dilakukan dengan cara berlari atau berjalan tanpa berhenti hingga menempuh jarak 1,6 km. Ada beberapa hal yang diperlukan untuk melaksanakan tes ini, di antaranya yaitu lintasan lari, timbangan berat badan, *stopwatch*, lembar pencatatan, dan petugas pemantau (Rahayu, 2024). Atlet akan ditimbang terlebih dahulu, lalu dicatat berat badan dalam satuan *pounds* dan umur dalam bentuk tahun. Petugas akan membantu mencatat durasi waktu yang diperlukan atlet untuk menempuh jarak yang telah ditentukan. Denyut jantung atlet juga akan

diukur setelah selesai berlari atau berjalan. VO_2 max dapat diukur berdasarkan rumus berikut

$$VO_2 \text{ max (ml/kg/min) pria} = 132.853 - (0.3877 \times \text{umur}) - (0.0769 \times \text{berat badan}) - (3.2649 \times \text{waktu tempuh}) - (0.1565 \times \text{denyut jantung}) + 6.315$$

$$VO_2 \text{ max (ml/kg/min) wanita} = 132.853 - (0.3877 \times \text{umur}) - (0.0769 \times \text{berat badan}) - (3.2649 \times \text{waktu tempuh}) - (0.1565 \times \text{denyut jantung})$$

(Marhaendro, 2020)

2.4 Kekuatan Otot Punggung

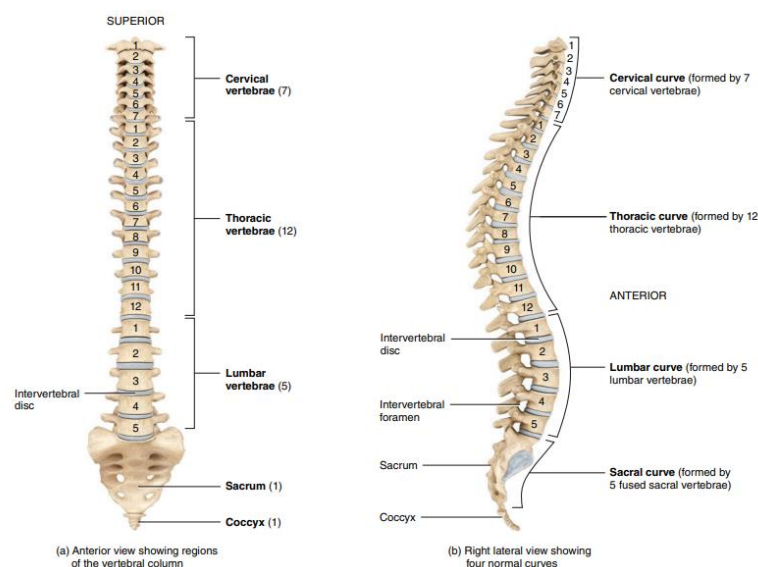
2.4.1 Definisi Kekuatan Otot Punggung

Kekuatan merupakan suatu usaha untuk menghasilkan gaya dan mengatasi tahanan atau perlawanan (I. Setiawan, 2021). Kekuatan otot merupakan gaya yang dihasilkan oleh sekelompok otot dalam sekali kontraksi secara maksimal. Kekuatan otot sangat berkaitan erat dengan jumlah massa otot, tetapi tingkat kekuatan otot yang dihasilkan oleh jumlah massa otot yang sama bisa berbeda-beda (Lintin & Miranti, 2019). Kekuatan otot dapat menurun apabila terjadi penurunan jumlah serat otot tipe cepat yang lebih besar dari penurunan serat otot tipe lambat (Sumandar *et al.*, 2021). Kelemahan otot bisa memberikan beberapa dampak negatif seperti mudah terjadi cedera, mudah terjadi kelelahan, serta membentuk postur tubuh yang buruk. Maka dari itu, latihan kekuatan otot sangat penting untuk dilakukan. Selain untuk mencegah hal-hal tersebut, latihan kekuatan otot juga dapat menunjang aktivitas sehari-hari, seperti melakukan gerakan memukul, menendang, mengangkat benda yang berat, serta gerakan-gerakan lain yang memerlukan gaya yang besar (Nasrulloh & Wicaksono, 2020).

Kekuatan otot dapat ditingkatkan dengan latihan aktivitas fisik (Lintin & Miranti, 2019). Salah satu contoh latihan yang dapat meningkatkan kekuatan otot yaitu angkat beban. Latihan tersebut juga dapat meningkatkan massa otot. Adapun beberapa otot yang dapat dilatih yaitu

otot tangan, lengan, tungkai, dan punggung (Nasrulloh & Wicaksono, 2020). Kekuatan otot punggung yaitu gaya yang dihasilkan oleh sekelompok otot di punggung yang berkontraksi secara maksimal. Kekuatan otot punggung sangat penting untuk dilatih untuk menghindari cedera karena otot punggung merupakan salah satu struktur yang menyusun otot pusat tubuh yang fungsinya adalah menyangga tubuh (Wendra *et al.*, 2023).

2.4.2 Anatomi Punggung



Gambar 1. Anatomi Os. Vertebra (Derrickson & Tortora, 2017)

Struktur punggung ditopang oleh rangkaian tulang belakang yang disebut vertebra, yang bersama dengan medula spinalis dan jaringan saraf lainnya menyusun kolumna vertebra. Panjang kolumna vertebra pada pria dewasa rata-rata 71 cm, sedangkan pada wanita dewasa panjang kolumna vertebra rata-rata 61 cm. Kolumna vertebra berfungsi sebagai penopang batang tubuh yang kuat dan fleksibel, yang dapat bergerak maju, mundur, menyamping, dan memutar. Selain itu, kolumna vertebra juga berfungsi sebagai tempat perlekatan tulang rusuk, tulang panggul, otot-otot punggung, dan ekstremitas atas. Di awal masa perkembangan, jumlah vertebra sekitar 33. Seiring berjalannya waktu, vertebra sacral

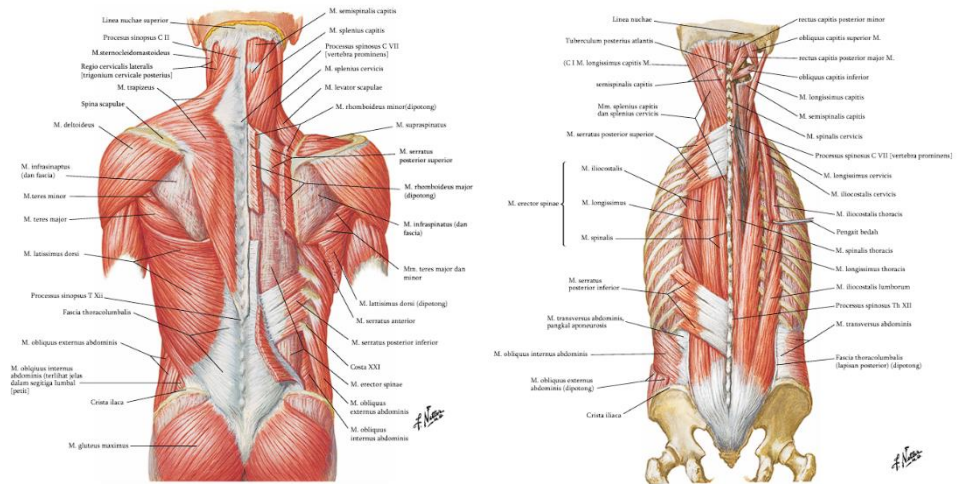
dan coccygeal mengalami fusi atau penyatuan sehingga saat dewasa jumlah vertebra yaitu 26. Adapun jenis-jenis vertebra yaitu:

- 7 os. vertebra cervicalis di bagian leher
- 12 os. vertebra thoracalis di belakang rongga dada
- 5 os. vertebra lumbalis di bagian punggung bawah
- 1 os. sacrum yang terdiri dari lima os. sacral yang menyatu
- 1 os. coccygis yang terdiri dari empat os. coccygeal (Derrickson & Tortora, 2017)

Kolumna vertebra dapat bergerak karena adanya otot-otot punggung yang susunannya cukup kompleks. Otot punggung dapat dikelompokkan berdasarkan arah perlekatannya dan perkiraan panjangnya. Kelompok yang pertama yaitu musculus splenius yang muncul dari garis tengah dan memanjang secara lateral dan superior ke tempatnya berinsersio. Musculus splenius terdiri atas musculus splenius capitis dan musculus splenius cervicis. Kelompok yang kedua yaitu musculus erector spinae yang muncul dari garis tengah lebih ke lateral yang biasanya memanjang secara longitudinal. Musculus erector spinae merupakan otot punggung yang paling besar dan merupakan ekstensor utama kolumna vertebra. Otot ini berperan dalam gerakan fleksi, fleksi lateral, rotasi kolumna vertebra, serta mempertahankan kurva lumbal. Musculus erector spinae terdiri dari kelompok musculus iliocostalis yang terletak di lateral, kelompok musculus longissimus yang terletak di intermedia, dan kelompok musculus spinalis yang terletak di media. Musculus iliocostalis terdiri dari musculus iliocostalis cervicis, musculus iliocostalis thoracis, dan musculus iliocostalis lumborum. Musculus longissimus terdiri dari musculus longissimus capitis, musculus longissimus cervicis, dan musculus longissimus thoracis. Musculus spinalis terdiri dari musculus spinalis capitis, musculus spinalis cervicis, dan musculus spinalis thoracis. Kelompok yang ketiga yaitu musculus transversospinalis yang muncul dari lateral dan memanjang ke arah garis tengah. Musculus transversospinalis dinamakan demikian karena

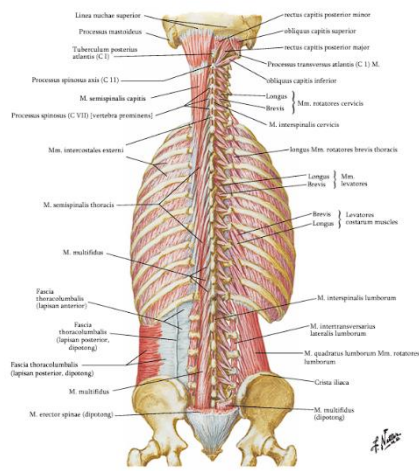
seratnya berjalan dari processus transversus ke processus spinosus vertebra. Musculus transversospinalis terdiri dari musculus semispinalis, musculus multifidus, dan musculus rotatores. Musculus semispinalis terdiri dari tiga jenis, yaitu musculus semispinalis capitis, musculus semispinalis cervicis, dan musculus semispinalis thoracis (Derrickson & Tortora, 2017).

Ada beberapa jenis otot selain dari tiga kelompok otot yang telah disebutkan, diantaranya ada musculus multifidus, musculus rotatores, dan musculus segmental. Musculus multifidus merupakan otot yang tersegmentasi menjadi beberapa bundel. Otot ini berukuran besar dan tebal yang terletak pada regio lumbal. Musculus rotatores merupakan otot-otot pendek yang dapat ditemukan di sepanjang kolumna vertebra. Otot ini tidak terlalu berpengaruh terhadap gerakan kolumna vertebra, tetapi musculus rotatores dapat membantu tubuh dalam memantau posisi kolumna vertebra dengan memberikan umpan balik proprioseptif kepada otot-otot punggung lain yang lebih besar dan kuat. Musculus segmental terdiri dari musculus interspinales dan musculus intertransversarii. Musculus segmental berfungsi untuk menstabilkan kolumna vertebra saat bergerak dan dapat juga memberikan umpan balik proprioseptif kepada otot-otot punggung lain yang lebih besar dan kuat (Derrickson & Tortora, 2017).



Lapisan Permukaan

Lapisan Tengah



Lapisan Dalam

Gambar 2. Anatomi Otot Punggung (Netter, 2019)

Tabel 4. Origo, Inserio, Fungsi, dan Inervasi Otot-Otot Punggung

Otot	Origo	Inserio	Fungsi	Inervasi
M. splenius				
M. splenius capitis	Ligamentum nuchae dan processus spinosus vertebra C7-T4	Os. occipital dan processus mastoideus os. temporal	Kontraksi bersamaan: Ekstensi kepala dan ekstensi kolumna vertebra ke arah dorsal.	Nervus spinalis cervicalis media
M. splenius cervicis	Processus spinosus vertebra T3-T6	Processus transversus C1-C4	Kontraksi masing-masing: Fleksi lateral dan rotasi kepala ipsilateral dengan otot yang berkontraksi Kontraksi bersamaan: Ekstensi kepala Kontraksi masing-masing: Fleksi lateral dan rotasi kepala ipsilateral dengan otot yang berkontraksi	Nervus spinalis cervicalis inferior
M. erector spinae				
M. iliocostalis				
M. iliocostalis cervicis	Os. costae 1-6	Processus transversus vertebra C4-C6	Kontraksi bersamaan: Ekstensi dan mempertahankan posisi tegak kolumna vertebra di bagian masing-masing.	Nervus spinalis cervicalis dan thoracalis
M. iliocostalis thoracis	Os. costae 7-12	Os. costae 1-6	Kontraksi masing-masing otot: Fleksi kolumna vertebra di bagian masing-masing.	Nervus spinalis thoracalis
M. iliocostalis lumborum	Crista iliaca	Os. costae 7-12		Nervus spinalis lumbalis
M. longissimus				
M. longissimus capitis	Processus articularis vertebra C4-C7 dan processus transversus vertebra T1-T4	Processus mastoideus os. temporal	Kontraksi bersamaan: Ekstensi kepala dan ekstensi kolumna vertebra Kontraksi masing-masing: rotasi kepala ipsilateral dengan otot yang berkontraksi	Nervus spinalis cervicalis media dan inferior
M. longissimus cervicis	Processus transversus vertebra T4-T5	Processus transversus vertebra C2-C6	Kontraksi bersamaan: Ekstensi kolumna vertebra di bagian masing-masing	Nervus spinalis cervicalis dan thoracalis superior
M. longissimus thoracis	Processus transversus	Processus transversus dari	Kontraksi masing-masing: Fleksi lateral kolumna vertebra di	Nervus spinalis

	vertebra lumbalis	semua vertebra thoracalis dan lumbalis bagian superior, serta os. costae 9 dan 10	bagian masing-masing	thoracalis dan lumbalis
M. spinalis				
M. spinalis capitis	Ligamentum nuchae, processus spinosus vertebra C7 dan T3	Os. occipital	Kontraksi bersamaan: Ekstensi kolumna vertebra di bagian masing-masing dan ekstensi kepala	Nervus spinalis cervicalis
M. spinalis cervicis	Ligamentum nuchae dan processus spinosus vertebra C7	Processus spinosus vertebra C2 (Axis)		Nervus spinalis cervicalis inferior dan thoracalis
M. spinalis thoracis	Processus spinosus vertebra T10-L2	Processus spinosus vertebra thoracalis superior		Nervus spinalis thoracalis
M. transversospinalis				
M. semispinalis capitis	Processus articularis vertebra C4-C6 dan processus transversus vertebra C7-T7	Os. occipital	Kontraksi bersamaan: Ekstensi kepala dan kolumna vertebra Kontraksi masing-masing: Rotasi kepala kontralateral dengan otot yang berkontraksi	Nervus spinalis cervicalis dan thoracalis
M. semispinalis cervicis	Processus transversus vertebra T1-T5	Processus spinosus vertebra C1-C5	Kontraksi bersamaan: Ekstensi kolumna vertebra di bagian masing-masing	Nervus spinalis cervicalis dan thoracalis
M. semispinalis thoracis	Processus transversus vertebra T6-T10	Processus spinosus vertebra C6-T4	Kontraksi masing-masing: Rotasi kepala kontralateral dengan otot yang berkontraksi	Nervus spinalis thoracalis
M. multifidus	Os. sacrum, os. ilium, dan processus transversus vertebra L1-L5, T1-T12, dan C4-C7	Processus spinosus vertebra bagian superior	Kontraksi bersamaan: Ekstensi kolumna vertebra Kontraksi masing-masing: Fleksi lateral dan rotasi kolumna vertebra kontralateral dengan otot yang berkontraksi	Nervus spinalis cervicalis, thoracalis, dan lumbalis

Mm. rotatores	Processus transversus seluruh vertebra	Processus spinosus vertebra di atas origonya	Kontraksi bersamaan: ekstensi kolumna vertebra Kontraksi masing-masing: Rotasi kolumna vertebra kontralateral otot yang berkontraksi	Nervus spinalis cervicalis, thoracalis, dan lumbalis
M. segmental				
Mm. interspinales	Permukaan atas processus spinosus semua vertebra	Permukaan bawah processus spinosus vertebra di atas origonya	Kontraksi bersamaan: ekstensi kolumna vertebra Kontraksi masing-masing: Stabilisasi gerakan kolumna vertebra	Nervus spinalis cervicalis, thoracalis, dan lumbalis
Mm. intertransversarii	Processus transversus semua vertebra	Processus transversus vertebra di atas origonya	Kontraksi bersamaan: Ekstensi kolumna vertebra Kontraksi masing-masing: Fleksi lateral dan stabilisasi gerakan kolumna vertebra	Nervus spinalis cervicalis, thoracalis, dan lumbalis

Sumber: (Derrickson & Tortora, 2017)

2.4.3 Fisiologi Otot

Otot rangka tersusun dari beberapa fasikulus yang di dalamnya terdapat beberapa serat otot atau sel otot. Tiap sel otot terdiri dari beberapa miofibril yang berbentuk seperti benang-benang. Otot rangka dapat disebut sebagai otot lurik karena terdapat gambaran pita gelap terang pada miofibril yang saling bergantian. Pita gelap dapat disebut sebagai pita A, yang terdiri dari filamen tebal dan filamen tipis, sedangkan pita terang dapat disebut sebagai pita I yang hanya terdiri dari filamen tipis. Komponen filamen tebal merupakan molekul miosin yang memiliki kepala dan ekor, sedangkan komponen filamen tipis terdiri dari aktin yang memiliki sisi aktif, troponin, dan tropomiosin. Kepala miosin akan membentuk jembatan silang dengan sisi aktif aktin saat terjadinya proses kontraksi otot. Tropomiosin akan menutup sisi aktif aktin saat otot sedang tidak berkontraksi. Troponin dapat membantu menguatkan ikatan tropomiosin dengan aktin. Filamen tebal disangga oleh garis M yang

berada di bagian tengah miosin, sedangkan filamen tipis disangga oleh garis zig-zag yang bernama garis Z. Daerah yang terletak di antara dua garis Z dapat disebut sebagai sarkomer. Sarkomer merupakan unit fungsional otot untuk melakukan kontraksi. Pada bagian tengah miosin yang tidak terdapat struktur filamen tipis dapat disebut sebagai zona H. Zona H dapat mengecil ketika terjadinya proses kontraksi otot (Costanzo, 2014).

Mekanisme kontraksi otot diawali dari terjadinya potensial aksi akson terminal neuron motorik pada *neuromuscular junction*, yaitu pertemuan antara neuron motorik dengan sel otot. Potensial aksi ini akan menyebabkan terbukanya kanal Ca^{2+} berpintu listrik yang ada di tombol terminal, sehingga Ca^{2+} dari ekstrasel dapat masuk ke dalam sel. Ca^{2+} akan memicu terjadinya eksositosis asetilkolin dari beberapa vesikel ke celah sinaps. Asetilkolin yang berikatan dengan reseptornya di sel otot akan membuka kanal berpintu asetilkolin sehingga Na^+ dari ekstrasel dapat masuk ke dalam sel otot dan memicu perubahan potensial membran sel otot menjadi lebih positif kemudian terjadi potensial aksi. Potensial aksi akan merambat ke tubulus T, sehingga dapat memicu pelepasan Ca^{2+} dari retikulum sarkoplasma ke sitoplasma. Ca^{2+} akan berikatan dengan troponin yang menyebabkan bergesernya tropomiosin, sehingga sisi aktif aktin akan terbuka. Miosin ATPase akan memecah ATP menjadi ADP dan 1 gugus fosfat untuk melepaskan energi tinggi. Energi tersebut akan digunakan untuk berikatan dengan sisi aktif aktin dan melakukan kayuhan. Jika terdapat ATP baru yang berikatan dengan kepala miosin, maka ikatan kepala miosin dan sisi aktif aktin akan terlepas. ATP yang baru juga akan dipecah untuk melepaskan energi, sehingga siklus dapat terulang kembali. Ca^{2+} akan dikembalikan ke retikulum sarkoplasma saat potensial aksi terhenti, sehingga filamen tipis akan berpindah ke tempat semula (Guyton & Hall, 2021).

ATP merupakan energi utama yang digunakan oleh otot untuk berkontraksi. ATP dapat dihasilkan dari proses aerob maupun anaerob. Proses pembentukan ATP secara aerob meliputi glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus krebs, dan transpor elektron. Proses glikolisis secara aerob menggunakan glukosa sebagai bahan utamanya yang kemudian diolah menjadi asam piruvat di sitosol. Pada proses glikolisis dihasilkan 2 asam piruvat, 2 ATP, dan 2 NADH. Setelah itu, asam piruvat akan masuk ke proses dekarboksilasi oksidatif di mitokondria. Pada proses ini asam piruvat akan melepaskan CO₂ dan berikatan dengan koenzim A, sehingga menjadi asetil koA. Proses dekarboksilasi oksidatif menghasilkan 2 asetil koA, 2 NADH, dan 2 CO₂. Asetil koA akan masuk ke tahap berikutnya, yaitu siklus krebs. Proses siklus krebs menghasilkan 2 ATP, 6 NADH, 2 FADH₂, dan 4 CO₂. Proses yang terakhir yaitu fosforilasi oksidatif. Proses ini sangat bergantung terhadap ketersediaan oksigen karena oksigen berfungsi sebagai akseptor elektron pada proses kemiosmosis oleh ATP sintase. Bahan utama proses ini merupakan NADH dan FADH₂ yang akan dilepas ion H⁺-nya ke intermembran mitokondria. H⁺ yang masuk kembali ke matriks mitokondria melalui ATP sintase dapat menghasilkan energi, sehingga memfasilitasi terjadinya ikatan ADP dengan fosfat inorganik membentuk ATP. Proses fosforilasi oksidatif ini menghasilkan 28 ATP dan 6 H₂O (Urry *et al.*, 2020).

ATP dapat dihasilkan secara anaerob ketika ketersediaan oksigen tidak mencukupi untuk melakukan proses fosforilasi oksidatif. Ada dua cara menghasilkan ATP secara anaerob, di antaranya yaitu pelepasan gugus fosfat dan energi tinggi dari kreatin fosfat dan glikolisis anaerob. Kreatin fosfat dapat digunakan ketika tubuh memerlukan energi secara cepat karena reaksinya sangat singkat. Kreatin fosfat akan dipecah menjadi kreatin dan fosfat oleh kreatin kinase. Proses ini menyebabkan terlepasnya energi tinggi yang kemudian akan digunakan oleh ADP untuk berikatan dengan fosfat menjadi ATP. Cara lain yaitu dengan glikolisis anaerob yaitu proses pemecahan glukosa menjadi 2 asam piruvat, kemudian dipecah lagi

menjadi 2 asam laktat. Proses ini dapat menghasilkan 2 ATP. Glikolisis anaerob memiliki kekurangan berupa rasa nyeri yang ditimbulkan akibat akumulasi asam laktat di pembuluh darah (Sherwood, 2018).

2.4.4 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kekuatan Otot

Ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi kekuatan otot, di antaranya yaitu:

a. Usia

Studi menunjukkan bahwa usia berpengaruh terhadap kekuatan otot. Manusia akan mengalami penurunan massa otot secara progresif dimulai dari usia sekitar 45 tahun. Penurunan massa otot dapat mengakibatkan penurunan terhadap kekuatan kontraksi otot. Penyebab terjadinya penurunan massa otot pada lansia berasal dari beberapa faktor. Faktor yang paling berisiko adalah kurangnya aktivitas fisik dan asupan yang bernutrisi. Faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi penurunan massa otot yaitu ketidakseimbangan metabolisme tubuh, gangguan hormonal, serta terjadinya inflamasi kronis. Degenerasi pada saraf motorik juga dapat menjadi penyebab melemahnya kekuatan otot pada lansia (Darwis *et al.*, 2022).

b. Jenis Kelamin

Seorang pria umumnya memiliki kekuatan otot yang lebih besar dari wanita. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan *growth hormone* antara pria dan wanita. Studi menyebutkan bahwa penurunan massa otot wanita dipengaruhi oleh penurunan *Insulin-Like Growth Factor-1* (IGF-1) dan peningkatan hormon kortisol yang menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan pada metabolisme tubuh. Pria dapat menjaga stabilitas metabolisme tubuhnya karena memiliki kadar testosteron yang tinggi. Studi menyebutkan bahwa penyebab paling umum penurunan massa otot pada pria yaitu penyakit kronis (Serra-Prat *et al.*, 2017).

c. Asupan Nutrisi

Asupan nutrisi yang baik sangat berpengaruh terhadap kekuatan otot. Zat gizi yang paling penting untuk meningkatkan kekuatan otot yaitu protein karena protein dapat memelihara dan meningkatkan massa otot. Massa otot yang besar dapat menghasilkan kekuatan kontraksi otot yang besar. Tubuh juga memerlukan antioksidan untuk mencegah terjadinya kerusakan sel otot akibat radikal bebas. Antioksidan ini bisa didapatkan dari makanan-makanan yang mengandung karotenoid dan selenium (Robinson *et al.*, 2019).

d. Aktivitas Fisik

Aktivitas fisik merupakan suatu kegiatan yang melibatkan kontraksi otot-otot rangka, sehingga dapat menghasilkan gerakan. Aktivitas fisik dapat meningkatkan penggunaan energi lebih dari *Basal Metabolic Rate* (BMR) (Piggin, 2020). Aktivitas fisik dapat menjadi salah satu cara untuk memelihara massa otot. Seseorang yang jarang beraktivitas fisik dapat mengalami atrofi, sehingga kekuatan otot akan melemah. Massa otot dapat ditingkatkan dengan latihan fisik, sehingga kekuatan otot akan meningkat (Reggiani & Schiaffino, 2020).

2.4.5 Metode Pengukuran Kekuatan Otot Punggung

Kekuatan otot punggung dapat diukur dengan menggunakan *back dynamometer*. Hasil pengukuran kekuatan otot berupa nilai dengan satuan kilogram. Pengukuran diawali dengan meminta subjek yang diukur untuk berdiri di atas *dynamometer*. Posisikan atlet membungkuk dengan keadaan kaki tetap lurus. Sesuaikan panjang rantai dengan tinggi badan subjek. Instruksikan subjek untuk menarik pegangan menggunakan otot punggung dengan kekuatan maksimal selama 3-5 detik. Pengukuran akan dilakukan sebanyak tiga kali dengan periode waktu istirahat sekitar 30 detik di antara setiap pengukuran. Nilai yang paling besar dari ketiga pengukuran merupakan nilai kekuatan otot punggung subjek (Wahyuningsih *et al.*, 2024).

Tabel 5. Interpretasi Kekuatan Otot Punggung pada Laki-Laki

Kategori	Hasil Ukur
Baik Sekali	≥ 137.5
Baik	106-137
Sedang	59-105
Kurang	36.5-58.5
Kurang sekali	≤ 36

Sumber: (Shanty *et al.*, 2021)

Tabel 6. Interpretasi Kekuatan Otot Punggung pada Perempuan

Kategori	Hasil Ukur
Baik Sekali	≥ 101.5
Baik	83-101
Sedang	55-82.5
Kurang	28-54.5
Kurang sekali	≤ 27.5

Sumber: (Shanty *et al.*, 2021)

2.5 Pengaruh Latihan Olahraga terhadap Sistem Tubuh

Tubuh manusia memiliki kemampuan untuk beradaptasi dan menyesuaikan perubahan lingkungan. Mekanisme penyesuaian ini disebut sebagai homeostasis (Billman, 2020). Mekanisme homeostasis juga digunakan oleh tubuh untuk beradaptasi saat melakukan latihan olahraga agar lingkungan internal tubuh dapat kembali ke kondisi normal. Latihan olahraga secara akut dapat memicu terjadinya beberapa respons dari sistem tubuh (Al Ayyuby, 2016). Proses homeostasis dapat menyebabkan perubahan fungsi sistem tubuh apabila latihan olahraga dilakukan secara kronis (Bafirman & Sepdanius, 2023).

2.5.1 Sistem Kardiovaskular

Tubuh memerlukan lebih banyak asupan oksigen saat sedang berolahraga. Oleh karena itu, sistem saraf simpatis akan teraktivasi sebagai salah satu mekanisme homeostasis. Sistem saraf simpatis yang terstimulasi dapat menyebabkan beberapa perubahan pada sistem kardiovaskular, di antaranya yaitu meningkatkan kecepatan perambatan potensial aksi pada otot-otot jantung, sehingga frekuensi denyut nadi akan meningkat. Perubahan lain yaitu meningkatnya kekuatan kontraktilitas otot jantung

yang disebabkan oleh meningkatnya influks Ca^{2+} pada miokardium. Peningkatan influks Ca^{2+} merupakan akibat dari rangsangan katekolamin yang merupakan *neurotransmitter* dari saraf simpatis, contohnya yaitu epinefrin dan norepinefrin. Peningkatan kontraktilitas akan meningkatkan *stroke volume* dan *cardiac output*, sehingga pasokan darah ke organ-organ yang membutuhkan oksigen saat olahraga dapat terpenuhi. Ventrikel membutuhkan tekanan yang lebih besar untuk memompa darah dengan jumlah yang lebih banyak, sehingga tekanan darah juga akan turut meningkat (Sherwood, 2018).

Sistem kardiovaskular akan mengalami perubahan seiring berjalannya waktu apabila olahraga dilakukan secara kronis. Peningkatan *stroke volume* dan *cardiac output* menyebabkan beban kerja jantung bertambah, terutama pada olahraga-olahraga yang bersifat aerobik. Semakin sering latihan olahraga dilakukan, maka jantung dapat mengalami pembesaran volume dan juga penebalan miokardium ventrikel. Perubahan anatomis ini meningkatkan efektivitas pompa jantung, sehingga ventrikel tidak memerlukan tekanan yang besar untuk memompa darah. Maka dari itu, latihan olahraga yang rutin dapat menurunkan tekanan darah dan tubuh dapat terhindar dari hipertensi (Eltidar, 2021). Seseorang yang rutin melakukan olahraga memiliki frekuensi denyut nadi cenderung lebih rendah. Hal ini merupakan efek dari efisiensi kerja jantung yang dapat memompa darah dengan jumlah yang banyak dalam satu kali pompaan, sehingga jantung tidak perlu sering berkontraksi. Seseorang yang lebih sering berolahraga juga mengalami penurunan kepekaan terhadap rangsangan saraf simpatis, sehingga turut memengaruhi perlambatan frekuensi denyut jantung (Bafirman & Sepdanius, 2023).

2.5.2 Sistem Imun

Latihan olahraga dengan intensitas yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pada sistem imun, sedangkan latihan olahraga dengan intensitas sedang terutama yang bersifat aerobik dapat meningkatkan imunitas

tubuh. Latihan olahraga melibatkan terjadinya pergerakan yang merupakan hasil dari kontraksi otot. Otot memerlukan Ca^{2+} untuk berkontraksi. Lepasnya Ca^{2+} dari retikulum sarkoplasma menyebabkan terlepasnya beberapa sitokin pro-inflamasi seperti $\text{TNF-}\alpha$ dan $\text{IL-1}\beta$ yang dapat memicu datangnya neutrofil (Widiastuti, 2020). Neutrofil yang teraktivasi dapat memicu produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS) dalam jumlah besar (Susilawati, 2021). ROS dapat menyebabkan terjadinya kerusakan sel jika diproduksi secara berlebihan dan tidak diseimbangkan dengan antioksidan (Gonçalves *et al.*, 2021). Adapun sel imun lain yang dilepas ke pembuluh darah saat fase akut yaitu sel *Natural Killer* (NK) dan sel T sitotoksik (Nieman & Wentz, 2019).

Latihan olahraga yang bersifat aerobik dan dilakukan secara kronis dapat menekan ekspresi *Toll-Like Receptors* (TLRs) yang menimbulkan efek anti inflamasi agar sel-sel tubuh terhindar dari kerusakan yang diakibatkan ROS (Widiastuti, 2020). Latihan olahraga yang dilakukan secara kronis dapat memicu terjadinya migrasi sel-sel imun seperti neutrofil, sel T sitotoksik, dan sel NK ke organ-organ tubuh, sehingga dapat meningkatkan kekebalan terhadap patogen (Nieman & Wentz, 2019). Latihan olahraga juga dapat meningkatkan pergantian neutrofil yang lama menjadi neutrofil baru (Sitlinger *et al.*, 2020). Aktivitas sel T juga dapat menurun akibat olahraga secara kronis. Oleh karena itu, latihan olahraga yang dilakukan secara kronis dapat meningkatkan imunitas tubuh (Jee, 2020).

2.5.3 Sistem Endokrin

Sistem endokrin akan meregulasi lingkungan internal tubuh saat melakukan latihan olahraga. Regulasi ini diatur oleh beberapa hormon pada aksis-aksis tertentu. Hormon tiroid akan dilepaskan ke dalam pembuluh darah saat latihan olahraga secara akut untuk meningkatkan laju metabolisme dan penciptaan energi. Hormon katekolamin juga dilepaskan karena adanya rangsangan saraf simpatis. Hormon ini dapat meningkatkan

frekuensi denyut nadi dan vasokonstriksi pembuluh darah, sehingga dapat meningkatkan tekanan darah dan perfusi oksigen ke jaringan. Kadar hormon kortisol juga meningkat sebagai respon dari stres akibat olahraga. Hormon ini meningkatkan proses lipolisis dan glikolisis untuk pembentukan energi. *Growth hormone* dapat meningkat sebagai respon dari peningkatan asam laktat. *Growth hormone* dapat menjaga volume otot dan tulang dengan meningkatkan pembelahan sel. Latihan olahraga dalam jangka panjang akan menimbulkan adaptasi tubuh terhadap stress, sehingga hormon yang dikeluarkan saat olahraga lebih sedikit dari fase akut (Athanasίου *et al.*, 2023). Selain itu, translokasi *insulin-mediated Glucose-Transporter Type 4* (GLUT 4) ke sarkolema dan penggunaan glukosa dapat meningkat, sehingga dapat meningkatkan sensitivitas insulin (Van Gerwen *et al.*, 2023).

2.6 Pengaruh Olahraga terhadap VO₂ max dan Kekuatan Otot Punggung

VO₂ max dapat ditingkatkan dengan melakukan program latihan fisik, terutama yang bersifat aerobik (Crowley *et al.*, 2022). Aktivitas fisik merupakan setiap gerakan yang dihasilkan oleh otot rangka dengan menggunakan energi. Latihan merupakan aktivitas fisik yang direncanakan secara terstruktur dan berulang dengan tujuan memelihara atau meningkatkan kebugaran jasmani (MacIntosh *et al.*, 2021). Program latihan fisik merupakan kegiatan olahraga yang dilakukan secara sistematis, berulang-ulang, dan membutuhkan jangka waktu yang panjang. Program latihan fisik harus ditingkatkan secara bertahap sesuai dengan kondisi tubuh untuk membentuk perubahan fungsi anatomis dan fisiologis tubuh. Program latihan fisik sangat penting bagi atlet karena dapat meningkatkan performa saat melakukan pertandingan (Pranata & Kumaat, 2022).

Latihan fisik dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu intensitas rendah dan intensitas tinggi. Pengelompokan ini berdasarkan pada jumlah VO₂ max yang digunakan saat latihan aktivitas fisik dilakukan. Latihan fisik dibagi menjadi tiga kategori, yaitu latihan dengan intensitas rendah dengan jumlah VO₂ max

kurang dari 50%, latihan intensitas sedang dengan jumlah VO_2 max sekitar 50% sampai 80%, dan latihan intensitas tinggi dengan jumlah VO_2 max lebih dari 80% (Crowley *et al.*, 2022). Intensitas latihan fisik dapat dipantau melalui denyut jantung yang secara tidak langsung dapat menggambarkan proses pendistribusian dan penggunaan oksigen oleh tubuh. Intensitas latihan fisik yang bersifat aerobik memiliki denyut jantung latihan sekitar 60% dari denyut jantung maksimal atau *Maximum Heart Rate* (HR_{max}). HR_{max} bisa diperkirakan berdasarkan rumus: $220 - \text{umur (tahun)}$. Contohnya, seorang atlet berusia 20 tahun dapat meningkatkan VO_2 max ketika denyut jantung latihannya 60% dari 200, yaitu sekitar 120 denyut per menit (Shookster *et al.*, 2020).

Ada beberapa jenis metode latihan yang dapat meningkatkan VO_2 max, contohnya yaitu *continuous training* dan *interval training*. Continuous training dapat dilakukan dengan berlari selama 20 menit secara terus-menerus di lintasan lari sepanjang 400 meter, sedangkan interval training dilakukan dengan berlari dengan intensitas tinggi dan rendah secara bergantian selama 20 menit. Pengulangan intensitas dilakukan sebanyak 6-8 kali dengan durasi tiap intensitasnya yaitu 1 menit. Interval training dapat dilakukan di lintasan lari sepanjang 400 meter. Kedua jenis latihan tersebut merupakan contoh dari olahraga yang bersifat aerobik (Salahuddin *et al.*, 2020).

Tubuh memerlukan jumlah oksigen yang lebih banyak saat berolahraga. Saraf simpatis akan teraktivasi untuk mengompensasi hal tersebut dengan cara meningkatkan ventilasi alveolar. Peningkatan ventilasi alveolar dapat membantu melepaskan CO_2 untuk mengurangi keadaan asam pada tubuh (Sherwood, 2018). Seseorang yang rutin berolahraga memiliki fungsi paru yang baik dalam menyediakan kebutuhan oksigen. Latihan olahraga dapat melatih kekuatan otot-otot pernapasan untuk meregang, sehingga dapat meningkatkan kapasitas vital paru (Lontoh & Rini, 2022). Kapasitas vital paru yang baik dapat meningkatkan VO_2 max. Selain itu, olahraga juga dapat meningkatkan enzim-enzim yang berguna untuk respirasi intraseluler, sehingga pembentukan ATP

dapat meningkat untuk memenuhi kebutuhan energi saat olahraga (Bafirman & Sepdanius, 2023).

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan otot punggung, di antaranya dengan menjaga asupan nutrisi dan melakukan program latihan fisik. Protein merupakan zat gizi yang paling penting untuk meningkatkan massa otot. Tingginya massa otot dapat menghasilkan kekuatan otot yang lebih besar. Pembesaran massa otot juga perlu ditunjang oleh program latihan fisik yang bersifat anaerobik, terutama latihan beban (Hita, 2020). Latihan beban dapat dilakukan dengan menggunakan beban dari berat badan sendiri atau dengan alat bantu (Nasution *et al.*, 2024).

Contoh latihan yang menggunakan berat badan sendiri yaitu seperti *back up*, *plank*, dan *standing bird dog*. *Back up* diawali dari posisi telungkup di atas matras dan tangan diletakkan di belakang kepala, kemudian punggung diekstensikan hingga dada terangkat dari lantai. Posisi kembali seperti awal setelah melakukan ekstensi (Kumamoto *et al.*, 2021). *Plank* merupakan latihan yang dilakukan dengan cara mempertahankan posisi mirip seperti *push up* dengan durasi waktu semaksimal mungkin. Posisi *plank* dapat dilakukan dengan cara tangan dan siku berada di bawah sebagai tumpuan agar tubuh tetap di atas (Park *et al.*, 2023). *Standing bird dog* diawali dari posisi tegak, lalu batang tubuh perlahan-lahan condong ke depan sambil mengangkat satu kaki dan satu lengan secara kontralateral (lengan lain tetap di samping tubuh). Posisi terakhir yaitu batang tubuh, lengan, dan kaki sejajar dengan tanah dan kaki penyangga tegak lurus dengan tanah. Posisi tersebut dipertahankan dalam waktu yang telah ditentukan (Losavio *et al.*, 2023).

Contoh alat bantu yang dapat digunakan yaitu *dumbbells*, barbel, bola *medicine*, serta tali elastis yang terfiksasi di suatu benda yang berat. Latihan yang sangat umum dilakukan saat ini yaitu *deadlift*. *Deadlift* dilakukan dengan cara mengangkat barbel dari lantai dengan posisi tubuh tetap lurus. Latihan ini dapat mengaktivasi *musculus longissimus* dan *multifidus* (Martín-Fuentes *et al.*,

2020). Hipertrofi otot bisa didapatkan dengan intensitas latihan tinggi yaitu sekitar 60-100%. Pola latihannya yaitu sebanyak 3 set yang terdiri dari 8-12 kali repetisi pada tiap set (Tambing *et al.*, 2020).

Latihan olahraga dapat memengaruhi sistem muskuloskeletal, terutama otot. Otot dapat mengalami perubahan sesuai dengan jenis latihan. Apabila latihan bersifat aerobik, maka otot terlatih untuk mengoptimalkan penggunaan oksigen. Apabila latihan bersifat anaerobik, maka perubahan dapat terlihat pada bentuk, kekuatan, ketahanan, serta daya ledaknya. Latihan olahraga dapat menstimulasi terjadinya sintesis protein otot, sehingga otot dapat mengalami hipertrofi (Krzysztofik *et al.*, 2019). Selain itu, latihan olahraga juga dapat menambah jumlah miofibril dan sarkolema (Bafirman & Sepdanius, 2023). Hal ini dapat menyebabkan peningkatan terhadap massa otot. Massa otot merupakan faktor penentu kekuatan otot, Semakin besar massa otot, maka semakin besar pula kekuatan otot (Zahida *et al.*, 2019). Latihan olahraga juga dapat menyebabkan pepadatan tulang akibat meningkatkan enzim-enzim tulang. Selain itu, latihan olahraga juga dapat memperkuat tulang, sendi, dan ligamen, sehingga dapat menurunkan risiko terjadinya cedera (Bafirman & Sepdanius, 2023).

Olahraga bela diri merupakan olahraga yang menggunakan sistem energi anaerobik. Olahraga dengan sistem energi anaerobik dapat meningkatkan kekuatan otot (Hita, 2020). Hal ini dapat dibuktikan oleh penelitian Nam & Lim (2019) yang menyatakan bahwa olahraga bela diri dapat meningkatkan kekuatan otot punggung. Namun, olahraga anaerobik kurang efektif dalam meningkatkan VO_2 max. Atlet olahraga bela diri cenderung memiliki nilai VO_2 max yang lebih rendah dari atlet dengan olahraga yang menggunakan sistem energi aerobik (Pusparesa *et al.*, 2022). Terdapat penelitian yang menemukan bahwa nilai rata-rata VO_2 max pada atlet bela diri belum mencapai kategori baik (Samodra & Mashud, 2021). Olahraga permainan bola kecil menggunakan kombinasi sistem energi, yaitu anaerobik dan aerobik. Sistem energi anaerobik digunakan untuk melakukan teknik-teknik dasar yang menggunakan kecepatan dan kekuatan otot, berlari untuk mencetak *run*, memukul bola, dan melempar

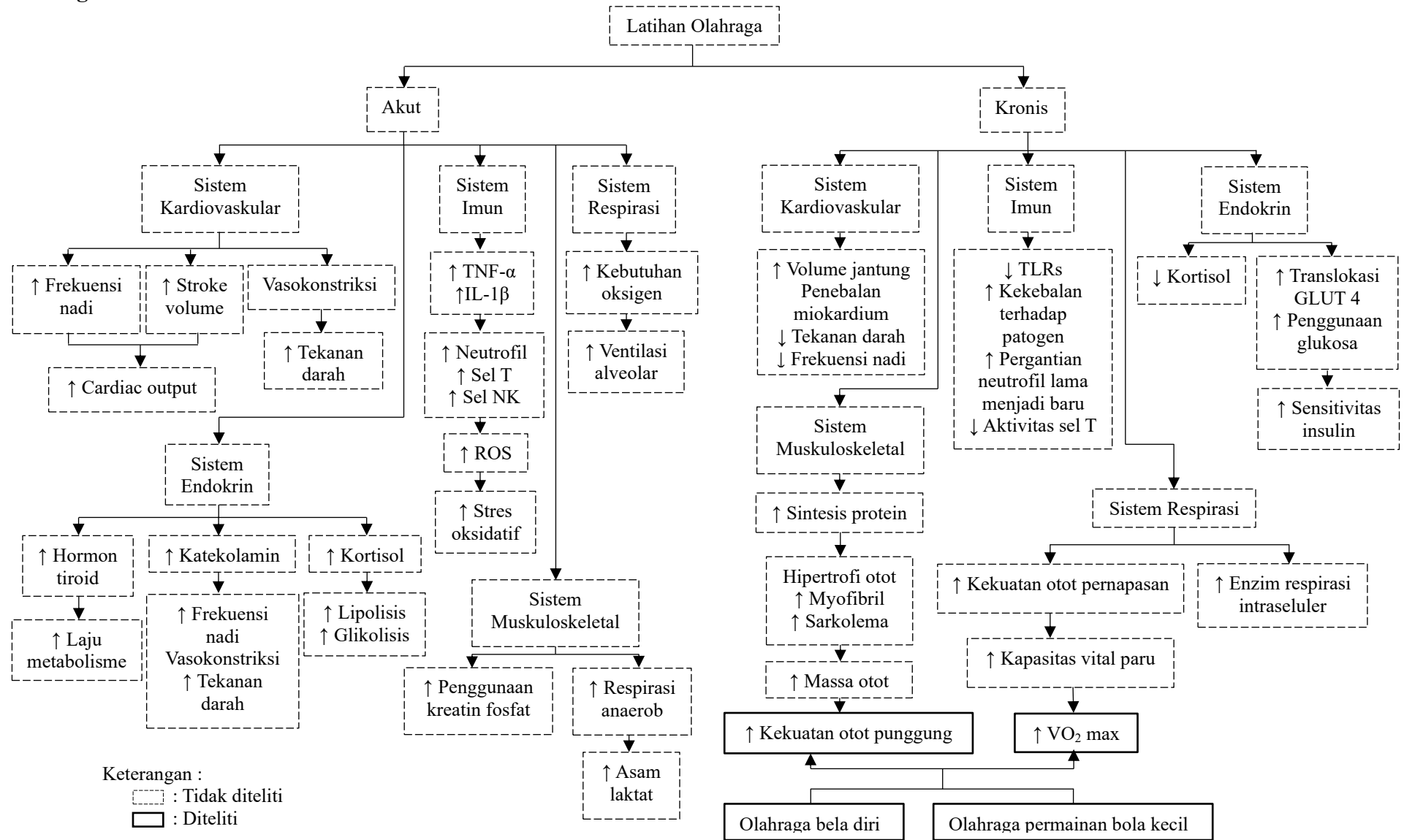
bola. Berbeda dengan olahraga bela diri, durasi olahraga permainan bola kecil relatif lebih lama, sehingga menggunakan sistem energi aerobik lebih besar dibandingkan dengan olahraga bela diri. Olahraga yang menggunakan sistem energi aerobik dapat meningkatkan VO_2 max (Crowley *et al.*, 2022). VO_2 max yang baik dapat mengoptimalkan daya tahan kardiorespirasi pada atlet (Jamaluddin *et al.*, 2020).

Tabel 7. Penelitian Terdahulu

Judul, Penulis	Desain	Variabel	Hasil Penelitian
The Effect of Aerobic Exercise on Changes in Vo_2 Max in Pertina Boxing Athletes, Pekalongan City (Hafnita, 2024)	<i>Quasi-experimental</i>	Bebas: Olahraga aerobik Terikat: VO_2 max	Olahraga aerobik sebanyak 20 kali secara rutin dapat meningkatkan nilai VO_2 max ($p = 0.000$)
Impact Aerobic Toward Body Physiology and VO_2 max (Hutajulu <i>et al.</i> , 2020)	<i>Quasi-experimental</i>	Bebas: Olahraga aerobik Yospan Terikat: Fisiologi tubuh dan VO_2 max	Olahraga aerobik Yospan dapat meningkatkan nilai VO_2 max ($p = 0.02$)
Penerapan Latihan Aerobik Skipping Terhadap Peningkatan VO_2 max Pada Pemain Voli Pria (Widiatmika <i>et al.</i> , 2024)	<i>Pre-eksperimental</i>	Bebas: Latihan aerobik skipping Terikat: VO_2 max	Olahraga aerobik skipping dapat meningkatkan nilai VO_2 max ($p = 0.000$)
Perbedaan Nilai VO_2 max antara Atlet Cabang Olahraga Permainan dan Bela Diri (Nugraheni <i>et al.</i> , 2017)	<i>Cross-sectional</i>	Bebas: Olahraga bela diri dan permainan bola besar Terikat: VO_2 max	Terdapat nilai VO_2 max antara kelompok olahraga bela diri dengan permainan bola besar ($p = 0.01$)
Analisis Kemampuan VO_2 max Cabang Olahraga Beladiri (Samodra & Mashud, 2021)	<i>Cross-sectional</i>	Bebas: Olahraga bela diri Terikat: VO_2 max	Olahraga bela diri tidak berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan VO_2 max ($p = 0.119$)
Comparison of Trunk Muscle Activity Between Traditional Plank Exercise and Plank Exercise With Isometric Contraction of Ankle Muscles in Subjects With Chronic Low Back Pain (Choi <i>et al.</i> , 2019)	<i>Quasi-experimental</i>	Bebas: Latihan <i>plank</i> tradisional dan latihan <i>plank</i> dengan kontraksi isometrik otot pergelangan kaki Terikat: Aktivitas otot batang tubuh	Latihan <i>plank</i> efektif untuk meningkatkan kekuatan otot batang tubuh

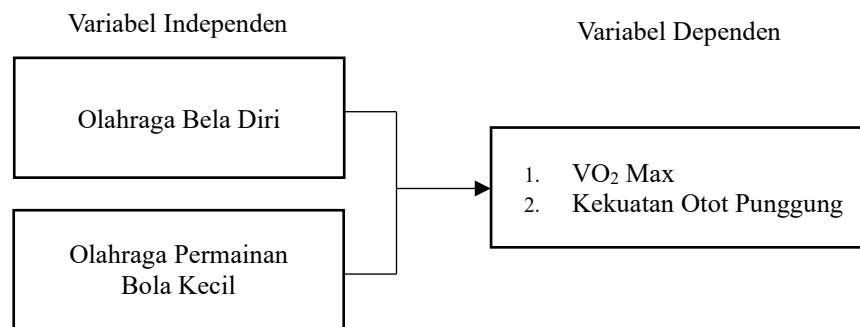
<p>The Effects of Back Extension Training on Back Muscle Strength and Spinal Range of Motion in Young Females (Yaparak, 2013)</p>	<p><i>Quasi-experimental</i></p>	<p>Bebas: <i>Dynamic back extension training</i> Terikat: <i>Cobb angle</i> dan aktivitas otot punggung</p>	<p><i>Dynamic back extension training</i> dapat meningkatkan kekuatan otot punggung</p>
<p>Interventional effect of core stability training on pain and muscle function of youth with chronic non-specific lower back pain: A randomized controlled trial (Xu <i>et al.</i>, 2024)</p>	<p><i>Quasi-experimental</i></p>	<p>Bebas: <i>Core stability training</i> Terikat: Nyeri dan fungsi otot</p>	<p><i>Core stability training</i> dapat meningkatkan kekuatan otot punggung secara signifikan ($p = 0.000$)</p>

2.7 Kerangka Teori



Gambar 3. Kerangka Teori (Bafirman & Sepdanius, 2023 ; Sherwood, 2018 ; Eltidar, 2021 ; Lontoh & Rini, 2022 ; Krzysztofik *et al.*, 2019 ; Zahida *et al.*, 2019 ; Widiastuti, 2020 ; Susilawati, 2021 ; Bardaweel *et al.*, 2018 ; Nieman & Wentz, 2019 ; Sitlinger, 2020 ; Jee, 2020 ; Athanasiou *et al.*, 2023 ; Way *et al.*, 2016)

2.8 Kerangka Konsep



Gambar 4. Kerangka Konsep

2.9 Hipotesis

- a. H₀: Tidak terdapat perbedaan VO₂ max antara atlet olahraga bela diri dengan atlet olahraga permainan bola kecil.
- b. H₁: Terdapat perbedaan VO₂ max antara atlet olahraga bela diri dengan atlet olahraga permainan bola kecil.
- c. H₀: Tidak terdapat perbedaan kekuatan otot punggung antara atlet olahraga bela diri dengan atlet olahraga permainan bola kecil.
- d. H₁: Terdapat perbedaan kekuatan otot punggung antara atlet olahraga bela diri dengan atlet olahraga permainan bola kecil.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan desain penelitian observasional analitik rancangan *cross sectional*. Pengambilan data dilakukan dalam satu waktu, baik variabel independen maupun dependen. Data yang diambil adalah VO₂ max dan kekuatan otot punggung pada atlet olahraga bela diri dan permainan bola kecil (Syapitri *et al.*, 2021).

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September-Desember tahun 2024.

3.2.2 Tempat Penelitian

Pengambilan data dilakukan di Stadion PKOR, Way Halim, Bandar Lampung.

3.3 Populasi dan Sampel

3.3.1 Populasi Penelitian

Populasi penelitian ini adalah seluruh atlet prestasi PON XXI 2024 dari Provinsi Lampung kelompok olahraga bela diri meliputi gulat, hapkido, muay thai, tarung derajat, wushu, judo, karate, kurash, sambo, dan

pencak silat, serta olahraga permainan bola kecil meliputi kriket, *baseball*, dan *softball*.

3.3.2 Sampel Penelitian

Sampel pada penelitian ini adalah bagian dari populasi yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusif. Jumlah sampel minimal diukur menggunakan rumus penghitungan sampel untuk beda rerata data numerik pada dua kelompok tidak berpasangan sebagai berikut:

$$n1 = n2 = 2 \left[\frac{(Z\alpha + Z\beta) S}{(x1 - x2)} \right]^2$$

Keterangan:

n1: Jumlah sampel kelompok 1

n2: Jumlah sampel kelompok 2

Z α : Kesalahan tipe I (ditetapkan 1,96 untuk $\alpha = 0,05$)

Z β : Kesalahan tipe II (ditetapkan 0,84 untuk 80% power)

S: Standar deviasi gabungan dua kelompok

x1: Rata-rata kelompok 1

x2: Rata-rata kelompok 2 (Irfannuddin, 2019)

Standar deviasi gabungan dua kelompok didapatkan melalui penghitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S^2 = \frac{(n1 - 1) s1^2 + (n2 - 1) s2^2}{n1 + n2 - 2}$$

$$S = \sqrt{\frac{(n1 - 1) s1^2 + (n2 - 1) s2^2}{n1 + n2 - 2}}$$

Keterangan:

S: Standar deviasi gabungan dua kelompok

n1: Jumlah sampel kelompok 1

n2: Jumlah sampel kelompok 2

s1: Standar deviasi kelompok 1

s2: Standar deviasi kelompok 2 (Julhadi *et al.*, 2019)

Penghitungan standar deviasi VO₂ max gabungan kelompok olahraga bela diri dan permainan bola kecil, serta jumlah sampel minimal kedua kelompok tersebut menggunakan data dari penelitian terdahulu, yaitu:

n1: Jumlah sampel kelompok olahraga *baseball* (mewakili olahraga permainan bola kecil) = 8

n2: Jumlah sampel kelompok olahraga karate (mewakili olahraga bela diri) = 15

s1: Standar deviasi VO₂ max kelompok olahraga *baseball* = 2,71

s2: Standar deviasi VO₂ max kelompok olahraga karate = 4,8

x1: Rata-rata VO₂ max kelompok olahraga *baseball* = 38,03

x2: Rata-rata VO₂ max kelompok olahraga karate = 34,25 (Hasibuan & Damanik, 2018; Nugraheni *et al.*, 2017)

Penghitungan standar deviasi gabungan dilakukan dengan menggunakan rumus di atas dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$S^2 = \frac{(n1 - 1) s1^2 + (n2 - 1) s2^2}{n1 + n2 - 2}$$

$$S = \sqrt{\frac{(n1 - 1) s1^2 + (n2 - 1) s2^2}{n1 + n2 - 2}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(8 - 1) 2,71^2 + (15 - 1) 4,8^2}{8 + 15 - 2}}$$

$$S = \sqrt{\frac{7 \cdot 7,3441 + 14 \cdot 23,04}{21}}$$

$$S = \sqrt{\frac{51,4087 + 322,56}{21}}$$

$$S = \sqrt{\frac{373,9687}{21}} = \sqrt{17,808} = 4,22$$

Berdasarkan penghitungan tersebut, didapatkan standar deviasi VO₂ max gabungan kelompok olahraga bela diri dan permainan bola kecil adalah 4,22. Penghitungan jumlah sampel minimal berdasarkan standar deviasi gabungan VO₂ max menggunakan rumus di atas dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$n1 = n2 = 2 \left[\frac{(Z\alpha + Z\beta) S}{(x1 - x2)} \right]^2$$

$$n1 = n2 = 2 \left[\frac{(1,96 + 0,84) 4,22}{(38,03 - 34,25)} \right]^2$$

$$n1 = n2 = 2 \left[\frac{2,8 \cdot 4,22}{3,78} \right]^2$$

$$n1 = n2 = 2 \left[\frac{11,816}{3,78} \right]^2$$

$$n1 = n2 = 2 \cdot 3,13^2 = 19,6$$

Berdasarkan penghitungan tersebut, jumlah minimal sampel kedua kelompok yaitu 19,6 dibulatkan menjadi 20 orang. Penghitungan standar deviasi kekuatan otot punggung gabungan kelompok olahraga bela diri dan permainan bola kecil, serta jumlah sampel minimal kedua kelompok tersebut menggunakan data dari penelitian terdahulu, yaitu:

n1: Jumlah sampel kelompok olahraga gulat (mewakili olahraga bela diri) = 30

n2: Jumlah sampel kelompok olahraga kriket (mewakili olahraga permainan bola kecil) = 22

s1: Standar deviasi kekuatan otot punggung kelompok olahraga gulat = 13,2

s2: Standar deviasi kekuatan otot punggung kelompok olahraga kriket = 24,13

x1: Rata-rata kekuatan otot punggung kelompok olahraga gulat = 126,8
 x2: Rata-rata kekuatan otot punggung kelompok olahraga kriket = 104,89
 (Singla *et al.*, 2018; Martiani, 2018)

Penghitungan standar deviasi gabungan dilakukan dengan menggunakan rumus di atas dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S^2 &= \frac{(n1 - 1) s1^2 + (n2 - 1) s2^2}{n1 + n2 - 2} \\
 S &= \sqrt{\frac{(n1 - 1) s1^2 + (n2 - 1) s2^2}{n1 + n2 - 2}} \\
 S &= \sqrt{\frac{(30 - 1) 13,2^2 + (22 - 1) 24,13^2}{30 + 22 - 2}} \\
 S &= \sqrt{\frac{29 \cdot 174,24 + 21 \cdot 582,26}{50}} \\
 S &= \sqrt{\frac{5.052,96 + 12.227,46}{50}} \\
 S &= \sqrt{\frac{29.507,88}{50}} = \sqrt{590,1576} = 24,29
 \end{aligned}$$

Berdasarkan penghitungan tersebut, didapatkan standar deviasi kekuatan otot punggung gabungan kelompok olahraga bela diri dan permainan bola kecil adalah 24,29. Penghitungan jumlah sampel minimal berdasarkan standar deviasi gabungan kekuatan otot punggung menggunakan rumus di atas dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 n1 = n2 &= 2 \left[\frac{(Z\alpha + Z\beta) S}{(x1 - x2)} \right]^2 \\
 n1 = n2 &= 2 \left[\frac{(1,96 + 0,84) 24,29}{(126,8 - 104,89)} \right]^2
 \end{aligned}$$

$$n1 = n2 = 2 \left[\frac{2,8 \cdot 24,29}{21,91} \right]^2$$

$$n1 = n2 = 2 \left[\frac{68,012}{21,91} \right]^2$$

$$n1 = n2 = 2 \cdot 3,1^2 = 19,22$$

Berdasarkan penghitungan tersebut, jumlah minimal sampel kedua kelompok yaitu 19,22 dibulatkan menjadi 20 orang. Teknik *sampling* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *total sampling* yaitu menjadikan seluruh anggota populasi sebagai sampel penelitian untuk mendapatkan hasil penelitian dengan tingkat kesalahan yang kecil (Syapitri *et al.*, 2021).

3.3.3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

A. Kriteria Inklusi

- 1) Subjek penelitian merupakan atlet PON XXI 2024 olahraga bela diri dan permainan bola kecil
- 2) Subjek penelitian bersedia mengikuti penelitian hingga selesai
- 3) Subjek penelitian berjenis kelamin laki-laki
- 4) Subjek penelitian berusia 17-45 tahun

B. Kriteria Eksklusi

- 1) Subjek penelitian merupakan seorang perokok
- 2) Subjek penelitian sedang dalam kondisi sakit atau cedera
- 3) Subjek penelitian memiliki riwayat penyakit pernapasan

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Independen

Variabel independen penelitian ini, yaitu:

- a. Olahraga bela diri
- b. Olahraga permainan bola kecil

3.4.2 Variabel Dependen

Variabel dependen penelitian ini, yaitu:

- a. VO_2 max
- b. Kekuatan otot punggung

3.5 Definisi Operasional

Berikut merupakan tabel definisi operasional pada penelitian ini.

Tabel 8. Definisi Operasional

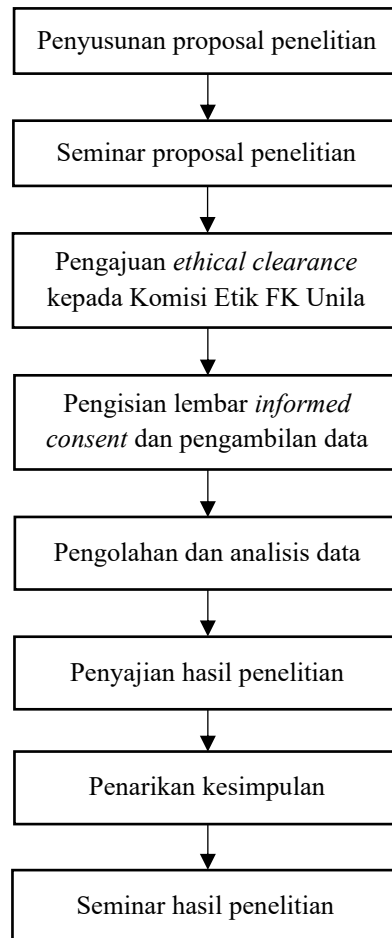
Variabel	Definisi	Cara Ukur	Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala
VO_2 max	VO_2 max merupakan jumlah asupan oksigen maksimal pada seseorang saat beraktivitas fisik (Buttar <i>et al.</i> , 2019)	Observasi	Meteran, <i>cone</i> pembatas, <i>audio bleep test</i> , dan lembar pencatat	Perkiraan jangkauan: 20.0 – 55.0 ml/kg/min	Rasio
Kekuatan Otot Punggung	Kekuatan otot punggung yaitu gaya yang dihasilkan oleh sekelompok otot di punggung yang berkontraksi secara maksimal (Leni & Triyono, 2018)	Observasi	<i>Back dynamometer</i>	Perkiraan jangkauan: 70.0 – 210.0 kg	Rasio
Olahraga Bela Diri	Olahraga bela diri merupakan olahraga yang komponennya gerakannya berdasarkan teknik-teknik bertarung yang dikombinasikan dengan strategi, filosofi, tradisi, dan aspek lain yang membedakannya dengan pertarungan	Cabang olahraga bela diri, yaitu: Gulat, hapkido, muay thai, tarung derajat, wushu, judo, karate, kurash, sambo, pencak silat	Formulir	0 = Bukan Olahraga Bela Diri 1 = Olahraga Bela Diri	Nominal

	tanpa aturan baku (Lee & Lauwaert, 2021)				
Olahraga Permainan Bola Kecil	Olahraga permainan bola kecil merupakan olahraga yang menggunakan alat dalam pelaksanaannya, seperti bola dan alat pemukul (Kasidu <i>et al.</i> , 2021)	Cabang olahraga permainan bola kecil, yaitu: Kriket, <i>baseball</i> , <i>softball</i>	Formulir	0 = Bukan Olahraga Permainan Bola Kecil 1 = Olahraga Permainan Bola Kecil	Nominal

3.6 Prosedur Penelitian

Subjek penelitian mengisi lembar informed consent dan formulir data diri terlebih dahulu. Data yang diambil pertama kali adalah kekuatan otot punggung menggunakan alat bernama *back dynamometer*. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali dengan waktu istirahat selama 30 detik di antara setiap pengukuran. Nilai yang paling besar digunakan sebagai data penelitian. Atlet kemudian melakukan *bleep test* untuk mengukur nilai VO_2 max. Pertama, atlet dibariskan di ujung lintasan, kemudian atlet akan diberikan arahan mengenai tata cara melakukan *bleep test*. *Bleep test* dilakukan dengan cara berlari bolak-balik di lintasan dan disesuaikan dengan bunyi “*bleep*”. Atlet harus menyentuh batas lintasan saat bunyi “*bleep*”. Atlet yang tidak dapat menyentuh batas lintasan sebanyak 2-3 *shuttle* berturut-turut tidak dapat melanjutkan *bleep test* dan hasilnya dicatat, lalu dikonversikan menjadi nilai VO_2 max.

3.7 Alur Penelitian



Gambar 5. Alur Penelitian

3.8 Pengolahan dan Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan diolah menggunakan aplikasi pengolahan data pada perangkat komputer. Analisis yang pertama kali dilakukan yaitu analisis univariat yang merupakan analisis statistik deskriptif untuk mengetahui ukuran pemusatan data dan ukuran penyebaran data. Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui ukuran penyebaran data dengan menggunakan uji *Saphiro-wilk* karena jumlah sampel tiap kelompok kurang dari 50. Hasil uji normalitas menunjukkan data tidak terdistribusi normal ($p < 0.05$). Uji homogenitas varian juga dilakukan menggunakan uji *Levene* untuk memastikan bahwa perbedaan yang ditemukan terjadi karena adanya perbedaan antar kelompok dan bukan perbedaan di dalam kelompok. Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa data VO_2 max homogen ($p > 0.05$), sedangkan data kekuatan otot punggung tidak homogen ($p < 0.05$). Transformasi dilakukan pada data VO_2 max dan kekuatan otot punggung, lalu dilakukan uji normalitas dan homogenitas kembali. Data VO_2 max yang telah ditransformasi tetap tidak terdistribusi normal, sedangkan data kekuatan otot punggung yang telah ditransformasi terdistribusi normal dan homogen. Analisis bivariat data VO_2 max menggunakan uji non parametrik *Mann-Whitney* karena data tidak terdistribusi normal, sedangkan analisis bivarian data kekuatan otot punggung menggunakan uji parametrik *independent T test* karena data terdistribusi normal (Irfannuddin, 2019).

3.9 Etika Penelitian

Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan etik yang dikeluarkan oleh Komisi Etik Penelitian Kedokteran dan Kesehatan, Fakultas Kedokteran Universitas Lampung dengan nomor **5645/UN26.18/PP.05.02.00/2024**.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Tidak terdapat perbedaan VO_2 max antara atlet olahraga bela diri dengan atlet olahraga permainan bola kecil ($p = 0.967$)
2. Terdapat perbedaan kekuatan otot punggung antara atlet olahraga bela diri dengan atlet olahraga permainan bola kecil ($p = 0.003$)

5.2 Saran

Saran yang peneliti berikan antara lain :

1. Bagi Fakultas Kedokteran Universitas Lampung, hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan pembelajaran dan menambah kekayaan pustaka.
2. Bagi peneliti lain, khususnya mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Lampung, peneliti menyarankan untuk melakukan penelitian dengan memperbanyak jumlah sampel, mempersempit rentang usia sampel, dan mempertimbangkan pola latihan setiap sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulloh AIM, Widodo A, Wahyudi H, Bawono MN, Susanto IH. 2023. Analisis Kondisi VO₂max Pemain Hoki Indoor Putri Gresik dalam Menunjang Keberhasilan Meraih Medali Emas. *Jurnal Porkes*. 6(1) : 1–14.
- Ahmed MH, Ghatge MS, Safo MK. 2020. Hemoglobin: Structure, Function and Allostery. Dalam : *Vertebrate and Invertebrate Respiratory Proteins, Lipoproteins and Other Body Fluid Proteins*. Cham : Springer International Publishing. hlm. 345–382.
- Al Ayyuby AS. 2016. Efek Latihan Akut Ergocycle terhadap Kadar Glukosa Darah pada Member Wanita Usia 40-60 Tahun di Atlas Sports Club Surabaya. *Jurnal Kesehatan Olahraga*. 6(2) : 530–534.
- Ali M, Yanto AH. 2022. Analisis Teknik Dasar Bowling Olahraga Kriket. *Jurnal Olahraga Dan Kesehatan Indonesia*. 2(2) : 117–124.
- Aliman R, Atiq A, Haetami, M, Yunitaningrum W, Azazi. 2023. Tingkat VO₂ Max (Volume Oksigen Maximal) Atlet Sepak Takraw. *Jurnal Dunia Pendidikan*, 4(1) : 694–702.
- Amin NF, Garancang S, Abunawas K. 2023. Konsep Umum Populasi dan Sampel dalam Penelitian. *Jurnal Pilar*. 14(1) : 15–31.
- Andibowo T, Sudarsono S, Iskandar MI. 2021. Implikasi Penggunaan Metode Latihan Teknik Dasar Karate Inkai Wonogiri. *Proficio : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 2(1) : 23–29.
- Anggraini FS, Widodo A. 2021. Analisis Kapasitas Aerobik Maksimal (VO₂max) pada Atlet Sepak Bola Unesa. *Jurnal Kesehatan Olahraga*. 9(4) : 103–108.
- Arifin S, Anggara N, Hernawan, Pratiwi E, Winata DC. 2023. Perancangan Program Latihan Beladiri Sambo di Wilayah Pesisir Kalimantan Selatan. *Maddana : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 3(2) : 35–38.
- Arifin Z, Wahyudi H. 2021. Ragam Motivasi Atlet dalam Berprestasi Olahraga. *Jurnal Kesehatan Olahraga*. 9(2) : 77–86.

- Aristiyanto, Nilawati I, Setiawan FE, Fadly S. 2021. Analysis of the Physical Condition of the Pencak Silat Athletes. Atlantis Press. 584: 903–908.
- Australian Hapkido Association. 2016. Australian Hapkido Association Tournament Rules. Sidney : Australian Hapkido Association.
- Azhari AW, Mardiana Y. 2018. Perkembangan Seni Beladiri Tarung Derajat di Indonesia Tahun 1972-2017. *Historia Madania*. 2(2) : 135–160.
- Bafirman HB, Sepdanius E. 2023. Konsep Dasar Fisiologi Olahraga. Depok : Rajawali Pers.
- Bardaweel SK, Gul M, Alzweiri M, Ishaqat A, Al Salamat HA, Bashatwah RM. 2018. Reactive Oxygen Species: The Dual Role in Physiological and Pathological Conditions of the Human Body. *The Eurasian Journal of Medicine*. 50(3):193-201.
- Billman GE. 2020. Homeostasis: The Underappreciated and Far Too Often Ignored Central Organizing Principle of Physiology. *Frontiers in Physiology*. 11(200) : 1–12.
- Buttar KK, Saboo N, Kacker S. 2019. A Review: Maximal Oxygen Uptake (VO₂ Max) and Its Estimation Methods. *International Journal of Physical Education Sports and Health*. 6(6) : 24–32.
- Cahyati S, Kusumawati I, Irianto DP. 2020. Gaya Kepemimpinan Pelatih Hapkido Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Sport and Health*. 1(2) : 77–83.
- Choi JH, Kim DE, Cynn HS. 2019. Comparison of Trunk Muscle Activity Between Traditional Plank Exercise and Plank Exercise with Isometric Contraction of Ankle Muscles in Subjects with Chronic Low Back Pain. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 35(9) : 2407–2413.
- Costanzo LF. 2014. *Physiology Edisi Ke-5*. Philadelphia : Elsevier.
- Crowley E, Powell C, Carson BP, Davies RW. 2022. The Effect of Exercise Training Intensity on VO₂max in Healthy Adults: An Overview of Systematic Reviews and Meta-Analyses. *Translational Sports Medicine*. 1–10.
- Dahikar B, Nigam S, Dahikar S. 2020. Relationship Between Hamstring and Lower Back Muscles Flexibility and Sprint Speed in Under-19 Young Male Cricket Players. *Indian Journal of Basic and Applied Medical Research*. 10(3) : 180–184.
- Darmawan AD, Adelliana A, Cahyani ED, Triana AN. 2023. Pencak Silat dan Nilai Sosial dalam Masyarakat: Literature Review. *Penjaga : Pendidikan Jasmani dan Olahraga*. 4(1) : 28–35.

- Darsi H. 2018. Pengaruh Senam Aerobic Low Impact terhadap Peningkatan $VO_2\max$. *Gelombang Olahraga: Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga (JPJO)*. 1(2) : 42–51.
- Darwis I, Fiana DN, Wisnu GNPP, Prameswari NP, Putri AR, Panuluh PD, *et al.* 2022. Hubungan Kekuatan Otot dengan Kualitas Hidup Pasien Lanjut Usia di Panti Wredha Natar, Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Penyakit Dalam Udayana*. 6(1) : 19–24.
- Derrickson BH, Tortora GJ. 2017. *Tortora's Principles of Anatomy & Physiology Edisi Ke-15*. Danvers MA : Wiley.
- Eltidar TR. 2021. Pengaruh Latihan Fisik terhadap Sistem Kardiovaskular. *Jurnal Medika Utama*. 3(1) : 1288–1292.
- Fabio S, Kartiko DC. 2022. Tingkat Aktivitas Fisik Mahasiswa Program Studi Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi pada Masa Pandemi. *Jurnal Pendidikan Olahraga dan Kesehatan*. 10(1) : 13–18.
- Fahrudin A, Hafidz A. 2023. Profil Kondisi Fisik Atlet Tenis Meja PTM Arta Jaya Kota Kediri. *Jurnal Prestasi Olahraga*. 6(1): 116–123.
- Faraby A, Subagio I. 2024. Analisis Kondisi Fisik Atlet Kurash Puslatda Jawa Timur. *Jurnal Prestasi Olahraga*. 7(4) : 337–344.
- Firdaus I, Uray G, Rubiyatno. 2022. Analisis Tingkat $VO_2\max$ Atlet Bulutangkis di Kota Pontianak. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Khatulistiwa*. 11(10): 2250–2259.
- Firmansyah, Purnomo M. 2023. Analisis Kondisi Fisik Atlet Bulutangkis Putra PB. Mandala Putra Mahesa Kediri 2022. *Jurnal Prestasi Olahraga*. 6(1): 68–77.
- Gantarialdha N. 2021. Hubungan Indeks Massa Tubuh terhadap Ketahanan Kardiorespirasi Dinyatakan dalam $Vo_2\max$. *Jurnal Medika Utama*. 2(4) : 1162–1168.
- Gonçalves RV, Costa AMA, Grzeskowiak L. 2021. Oxidative Stress and Tissue Repair: Mechanism, Biomarkers, and Therapeutics. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2021(1) : 1–3.
- Guyton A, Hall J. 2021. *Guyton And Hall Textbook Of Medical Physiology Edisi Ke-14*. Philadelphia : Elsevier.
- Hafnita. 2024. The Effect of Aerobic Exercise on Changes in VO_2 Max in Pertina Boxing Athletes, Pekalongan City. *Proceedings of International Conference on Physical Education, Health, and Sports*. 4 : 363–373.

- Hardyanti I, Siantoro G. 2022. Analisis Kondisi Fisik Atlet Wushu Sanda Akademi Wanoro Seto Surabaya. *Jurnal Prestasi Olahraga*. 5(2) : 25–31.
- Hasibuan R, Damanik RZ. 2018. Pengaruh Latihan Interval Running dengan Continuous Running terhadap Kadar Hemoglobin dan VO₂ Max pada Atlet Baseball Binaan USBC Universitas Negeri Medan 2018. *Sains Olahraga : Jurnal Ilmiah Ilmu Keolahragaan*. 2(2): 82–92.
- Herawati JN, Nazhira F, Agustiyawan, Sirada A. 2023. Gambaran Tingkat Volume Oxygen Maximal (VO₂max) dan Aktivitas Fisik pada Mahasiswa Program Studi Kesehatan Masyarakat Fikes UPNVJ. *Jurnal Ilmiah Fisioterapi Muhammadiyah*. 2(2) : 21–30.
- Hermanto, Robianto A. 2020. Perbandingan Tes Balke dan Tes Jalan Rockport dalam Pengukuran VO₂max. *Jurnal Ilmiah Sport Coaching and Education*, 4(1) : 8–13.
- Hikmah W, Hafidz A. 2023. Motivasi Berprestasi Siswa dalam Mengikuti Kegiatan Ekstrakurikuler Futsal di SMA Bima Ambulu. *JPO : Jurnal Prestasi Olahraga*. 6(1) : 1–7.
- Hita IPAD. 2020. Efektivitas Metode Latihan Aerobik dan Anaerobik Untuk Menurunkan Tingkat Overweight dan Obesitas. *Jurnal Penjakora*. 7(2) : 135–142.
- Hutajulu PT, Mapandin WY, Mandosir YM. 2020. Impact Aerobic Toward Body Physiology and VO₂max. *Journal of Physical Education*. 7(2) : 25–30.
- Ibrahim MM, Bakti AP. 2020. Analisis Kemampuan VO₂ Max dan Heart Rate Wasit Bola Tangan Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Kesehatan Olahraga*. 8(4) : 55–60.
- International Cricket Council. 2023. ICC Men's Twenty-20 International Playing Conditions. Dubai : International Cricket Council.
- International Federation of Muaythai Association. 2023. Rules & Regulations for International Competition. Bangkok : International Federation Of Muaythai Association.
- International Hapkido Cooperation. 2023. International Hapkido Cooperation – Open Hapkido European Championships Rules and Regulations. Wiesbaden : International Hapkido Cooperation.
- International Judo Federation. 2020. Document Sport and Organisation Rules. Budapest : International Judo Federation.

- International Kurash Association. 2024. 2024 XIII Asian Senior Kurash Championship IKA Ranking System Event. Tashkent : International Kurash Association.
- International Pencak Silat Federation. 2022. Persilat New Rules & Regulations. Jakarta : International Pencak Silat Federation.
- International Sambo Federation. 2023. International Sambo Rules (Combat Sambo). Moskow : International Sambo Federation.
- International Wushu Federation. 2017. Wushu Sanda Competition Rules & Judging Method. Beijing : International Wushu Federation.
- Irawan FA, Chuang LR. 2019. Baseball and Biomechanics: Injury Prevention for Baseball Pitcher. *Jurnal Keolahragaan*. 7(1) : 57–64.
- Irfannuddin. 2019. Cara Sistematis Berlatih Meneliti Merangkai Sistematika Penelitian Kedokteran dan Kesehatan. Jakarta: Rayyana Komunikasindo.
- Irham A, Purnomo M. 2022. Analisis Kondisi Fisik Atlet Putra Bulutangkis PB Wiman Lamongan Usia 15- 17 Tahun. *Jurnal Prestasi Olahraga*. 5(5): 5–12.
- Jamaluddin MI, Susanto IH, Mustar YS. 2020. Analisis Kontribusi Kekuatan Otot Tungkai Fleksibilitas Pergelangan Tangan Kekuatan Otot Lengan dan Daya Tahan Aerobik terhadap Akurasi Bowling Atlet Cricket Putra Jawa Timur. *Jurnal Kesehatan Olahraga*. 8(3): 61–66.
- Jee YS. 2020. Influences of Acute and/or Chronic Exercise on Human Immunity: Third Series of Scientific Evidence. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 16(3) : 205–206.
- Jeknić V, Dopsaj M, Toskić L, Koropanovski N. 2022. Muscle Contraction Adaptations in Top-Level Karate Athletes Assessed by Tensiomyography. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(16) : 1–12.
- Jubairi SM, Kusnanik NW. 2020. Analisis Kemampuan Aerobik dan Anaerobik Tim Futsal Jomblo FC Ponorogo. *Jurnal Prestasi Olahraga*. 3(1) : 1–6.
- Juhanis, Irvan, Sutriawan A, Syafruddin MA, Hasanuddin MI, Haeril, *et al.* 2023. Pelatihan Teknik Dasar dan Sosialisasi Peraturan Permainan Olahraga Kurash pada Pengurus Bela Diri Kurash Kota Makassar. 4(3) : 6591–6595.
- Julhadi, Yosoef A, Zulfan. 2019. Pengaruh Model Pembelajaran Carousel Feedback terhadap Prestasi Belajar Sejarah Siswa Kelas X1 IPS SMA Negeri 1 Sawang Kabupaten Aceh Selatan. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Jurusan Pendidikan Sejarah*. 4(4): 329–346.

- Kasidu HW, Muhyi M, Wiyarno Y. 2021. Hubungan Indeks Massa Tubuh (IMT) dan Kelincahan terhadap Permainan Bola Kecil Berbasis Kreatif pada Pembelajaran PJOK. *Jurnal Pendidikan Kesehatan Rekreasi*. 7(1) : 74–81.
- Khakim MK. 2022. Meningkatkan Keterampilan Pukulan Softball dengan Menggunakan Metode Two Ball Soft Toss Drill dan Drop Ball Drill pada Atlet Kota Semarang. *Seminar Nasional Ke-Indonesiaan VII*. 2270–2274.
- Khan MAJ, Susanto IH. 2023. Analisis Daya Tahan Aerobik pada Atlet Renang Studi pada Klub Hiu dan Millenium Surabaya. *Jurnal Kesehatan Olahraga*. 11(1) : 35–40.
- Kolimechkov S, Petrov L. 2020. The Body Mass Index: A Systematic Review. *Journal of Exercise Physiology and Health*. 3(2) : 21–27.
- Krzysztofik M, Wilk M, Wojdała G, Gołaś A. 2019. Maximizing Muscle Hypertrophy: A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16(24) : 1–14.
- Kumamoto T, Seko T, Matsuda R, Miura S. 2021. Repeated Standing Back Extension Exercise: Influence on Muscle Shear Modulus Change After Lumbodorsal Muscle Fatigue. *Work*. 68(4) : 1229–1237.
- Kurniawan C, Setijono H. 2020. Performa Kondisi Fisik Atlet Pemusatan Latihan Lampung Menuju PON XX Papua 2021. *Seminar Nasional Pascasarjana 2020*. 751–756.
- Lee K, Lauwaert N. 2021. *World Martial Arts Towards A Global Overview*. Chungju-si : Changhyun Park.
- Leni ASM, Triyono E. 2018. Perkembangan Usia Memberikan Gambaran Kekuatan Otot Punggung pada Orang Dewasa Usia 40-60 Tahun. *Gaster*. 16(1) : 1–5.
- Lintin GBR, Miranti. 2019. Hubungan Penurunan Kekuatan Otot dan Massa Otot dengan Proses Penuaan pada Individu Lanjut Usia yang Sehat Secara Fisik. *Jurnal Kesehatan Tadulako*. 5(1) : 1–5.
- Lontoh SO, Rini. 2022. Hubungan Kebiasaan Olahraga dengan Fungsi Paru Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Tarumanagara Angkatan 2019/2020. *Jurnal Muara Medika dan Psikologi Klinis*. 1(2) : 147–154.
- Losavio R, Contemori S, Bartoli S, Dieni CV, Panichi R, Biscarini A. 2023. Electromyographic and Stabilometric Analysis of The Static and Dynamic “Standing Bird Dog” Exercise. *Sports*. 11(119) : 1–11.
- Macintosh BR, Murias JM, Keir DA, Weir JM. 2021. What Is Moderate to Vigorous Exercise Intensity? *Frontiers in Physiology*. 12 : 1–6.

- Marhaendro ASD. 2020. Tes Pengukuran dalam Olahraga. Yogyakarta : UNY Press.
- Marsuna, Hudain MA, Heriansyah. 2024. Aerobic Training as an Approach to Increasing VO₂max in Amateur Football Athletes. *Journal Sport Area*. 9(2) : 207–216.
- Martiani. 2018. Kontribusi antara Kekuatan Otot Tungkai dan Kekuatan Otot Punggung terhadap Kemampuan Bantingan Pinggang Olahraga Gulat Atlet PGSI Provinsi Bengkulu. *Jorpres : Jurnal Olahraga Prestasi*. 14(2) : 108–120.
- Martín-Fuentes I, Oliva-Lozano JM, Muyor JM. 2020. Electromyographic Activity in Deadlift Exercise and Its Variants. A Systematic Review. *Plos One*. 15(2) : 1–18.
- Masula DSAM, Jatmiko T. 2021. Analisis Kondisi Fisik Atlet Pencak Silat Kategori Tanding Puteri (Studi SMK Negeri Mojoagung). *Jurnal Prestasi Olahraga*. 4(3) : 49–57.
- Mulyasari I, Afiatna P, Maryanto S, Aryani AN. 2023. Indeks Massa Tubuh sebagai Prediktor Hipertensi: Perbandingan Standar World Health Organization dan Asia-Pasifik. *Amerta Nutrition*. 7(2) : 247–251.
- Nabillah AA, Tarigan BS, Ramadhani A, Lestari EA, Safei I, Iwandana DT. 2022. Analisis Kemampuan Koordinasi Mata-Tangan Atlet Tinju. *Jurnal Olahraga dan Kesehatan Indonesia*. 3(1) : 8–15.
- Na'ima AL, Jumiati J. 2023. Relationship of Thoracic Cage Expansion to Vo₂ Max and Vital Lung Capacity in Students. *Research of Service Administration Health and Sains Healthys*. 4(1) : 26–30.
- Nam SS, Lim K. 2019. Effects of Taekwondo Training on Physical Fitness Factors in Korean Elementary Students: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*. 23(1) : 36–47.
- Nasrulloh A, Wicaksono IS. 2020. Latihan Bodyweight dengan Total-Body Resistance Exercise (TRX) dapat Meningkatkan Kekuatan Otot. *Jurnal Keolahragaan*. 8(1) : 52–62.
- Nasuha MSH, Widodo A. 2022. Analisis Pertandingan Muaythai Saenchae (Thailand) Vs Azize Hlali (France) pada Pertandingan Phoenix Championship di Beirut, Lebanon April 29 2017. *Jurnal Kesehatan Olahraga*. 10(4) : 125–130.
- Nasution AIV, Nusri A, Hasibuan N, Ginting AA, Ratno P. 2024. Pengaruh Latihan Beban terhadap Kekuatan Otot Tungkai. *Jurnal Ilmiah Ilmu Keolahragaan*. 8(1) : 13–21.

- Natalia, Lontoh SO. 2019. Pengaruh Rokok terhadap Fungsi Paru Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tarumanagara Jakarta Barat 2016. *Tarumanagara Medical Journal*. 1(3) : 586–590.
- Nawawinetu ED, Lutfiya I. 2020. Factors Associated with The Ability to Perform Physical Fitness Tests with QCST. *Journal of Vocational Health Studies*. 3(3) : 97–102.
- Netter FH. 2019. *Atlas of Human Anatomy Edisi Ke-7*. Philadelphia : Elsevier.
- Nieman DC, Wentz LM. 2019. The Compelling Link Between Physical Activity and The Body's Defense System. *Journal of Sport and Health Science*. 8(3) : 201–217.
- Ningsih HP, Jatmiko T. 2021. Identifikasi Kondisi Fisik Terhadap Atlet Gulatputrasurabaya Wrestling Club pada Masa Pandemi Covid-19. *Jurnal Prestasi Olahraga*. 4(10) : 96–104.
- Nugraha MZ, Surendra M, Kinanti RG. 2018. Analisis Tingkat Volume Oksigen Maksimal Tenis Lapangan Pelti Kota Malang. *Jurnal Sport Science*. 8(1): 1–9.
- Nugraheni HD, Marijo, Indraswari DA. 2017. Perbedaan Nilai Vo₂max antara Atlet Cabang Olahraga Permainan dan Bela Diri. *Jurnal Kedokteran Diponegoro*. 6(2) : 622–631.
- Nugroho A, Azandi F, Munawar AA, Winata DC. 2024. *Permainan Bola Kecil*. Medan : Bina Guna Press.
- Nugroho W. 2020. Profil Tingkat Volume Oksigen Maksimal pada Atlet Puslatda PON XX Daerah Istimewa Yogyakarta. *Majalah Ilmiah Olahraga*. 26(1): 27–32.
- Park S, Choi BH, Jee YS. 2023. Effects of Plank Exercise on Respiratory Capacity, Physical Fitness, and Immunocytes in Older Adults. *Journal Of Exercise Rehabilitation*. 19(6) : 332–338.
- Pasha AK, Hamdani. 2021. Pengaruh Gerak Seni Ganda Beladiri pada Materi Pencak Silat terhadap Minat Belajar dalam Pembelajaran PJOK Di SMA Negeri 3 Surabaya. *Jurnal Pendidikan Olahraga dan Kesehatan*. 9(1): 451–455.
- Pekan Olahraga Mahasiswa Nasional. 2019. *Buku Pedoman Umum*. Jakarta :Pekan Olahraga Mahasiswa Nasional.

- Piggin J. 2020. What is Physical Activity? A Holistic Definition for Teachers, Researchers and Policy Makers. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2(72): 1–7.
- Plotkin DL, Roberts MD, Haun CT, Schoenfeld BJ. 2021. Muscle Fiber Type Transitions with Exercise Training: Shifting Perspectives. *Sports*. 9(127): 1–11.
- Pranata D, Kumaat NA. 2022. Pengaruh Olahraga dan Model Latihan Fisik terhadap Kebugaran Jasmani Remaja: Literature Review. *Jurnal Kesehatan Olahraga*. 10(2): 107–116.
- Pratama B. 2023. Pengaruh Latihan Anaerobik terhadap Kekuatan Otot: Tinjauan Literatur. *Edukasimu*. 3(1): 1–22.
- Prima P, Kartiko DC. 2021. Survei Kondisi Fisik Atlet pada Berbagai Cabang Olahraga. *Jurnal Pendidikan Olahraga dan Kesehatan*. 9(1): 161–170.
- Pristianto A, Simatupang NK, Putri LD, Azzahra NL, Dini N, Mardiani P. 2022. Edukasi Physical Fitness Exercise untuk Meningkatkan Daya Tahan Kardiorespirasi Siswa SMP Muhammadiyah 5 Surakarta. *Bernas : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 3(4): 593–601.
- Pusparesa SA, Kaidah S, Huldani. 2022. Literature Review: Perbedaan Nilai Vo2 Maks pada Atlet Olahraga Permainan dan Bela Diri. *Homeostasis*. 5(2): 427–434.
- Rahayu A. 2024. Analisis Tingkat Kebugaran Atlet Panjat Tebing Melalui Survei Tes Rockport Walk Test. *Edukasimu*. 4(4): 1–21.
- Reggiani C, Schiaffino S. 2020. Muscle Hypertrophy and Muscle Strength: Dependent or Independent Variables? A Provocative Review. *European Journal of Translational Myology*. 30(3): 1–12.
- Robinson S, Granic A, Sayer AA. 2019. Nutrition and Muscle Strength, as The Key Component of Sarcopenia: An Overview of Current Evidence. *Nutrients*. 11(12): 1–17.
- Rohmah L, Muhammad HN. 2021. Tingkat Kebugaran Jasmani dan Aktivitas Fisik Siswa Sekolah. *Jurnal Pendidikan Olahraga dan Kesehatan*. 9(1): 511–519.
- Salahuddin A, Saroinsong HE, Kartamihardja AHS. 2020. Perbandingan antara Continuous Training dan Interval Training terhadap Peningkatan VO2 Max pada Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran. *Jurnal Ilmu Faal Olahraga*. 3(2): 33–38.
- Samodra YTJ, Mashud. 2021. Analisis Kemampuan VO2max Cabang Olahraga Beladiri. *Altius: Jurnal Ilmu Olahraga dan Kesehatan*. 10(1): 78–88.

- Saptono T, Sumintarsih S, Saleh RAP. 2021. Perbandingan Latihan Aerobik dan Anaerobik terhadap Tingkat Imunitas Atlet Bolavoli melalui Physical Fitness Test. *Jurnal Penjaskesrek*. 8(2): 172–188.
- Serra-Prat M, Papiol M, Vico J, Palomera E, Bartolomé M, Burdoy E. 2017. Factors Associated with Poor Muscle Mass and Strength in a Community-Dwelling Elderly Population: A Cross-Sectional Study. *Journal of Gerontology & Geriatric Research*. 6(2): 1–6.
- Setiadi TH, Pandean F, Haryanto YJ. 2023. Pengenalan Latihan Kekuatan Otot untuk Kebugaran Jasmani di Jakarta Barat. *Jurnal Serina Abdimas*. 1(3): 1164–1167.
- Setiawan I. 2021. Analisis Kekuatan Daya Tahan Otot Inti, Indeks Massa Tubuh dan Vo2max Atlet Cabor Tarung Derajat. *Jurnal Pendidikan Kesehatan Rekreasi*. 7(2): 287–294.
- Setu FAP, Annas M. 2021. Survei Tingkat Kebugaran Jasmani dan Pemahaman Law of The Game Wasit Askab Magelang. *Indonesian Journal for Physical Education and Sport*. 2(1): 153–159.
- Shanty E, Ridwan M, Argantos, Setiawan Y. 2021. Kontribusi Kekuatan Otot Lengan, Kekuatan Otot Tungkai dan Kekuatan Otot Punggung terhadap Kecepatan Renang Gaya Bebas 50 Meter. *Jurnal Patriot*. 3(2): 179–191.
- Sherwood L. 2018. *Fisiologi Manusia Dari Sel Ke Sistem Edisi Ke-9*. Jakarta: EGC.
- Shookster D, Lindsey B, Cortes N, Martin JR. 2020. Accuracy of Commonly Used Age-Predicted Maximal Heart Rate Equations. *International Journal of Exercise Science*. 13(7): 1242–1250.
- Singla D, Hussain ME, Bhati P. 2018. Correlation Between Upper Body Balance, Muscle Strength, and Power in Cricketers Belonging to Different Age Groups. *Journal of Chiropractic Medicine*. 17(3): 160–166.
- Sitlinger A, Brander DM, Bartlett DB. 2020. Impact of Exercise on The Immune System and Outcomes in Hematologic Malignancies. *Blood Advances*. 4(8): 1801–1811.
- Studnicka K, Ampat G. 2023. *Lumbar Stabilization*. Treasure Island: Statpearls Publishing.
- Sumandar, Fadhli R, Mayasari E. 2021. Sosio-Ekonomi, Sindrom Metabolik terhadap Kekuatan Genggaman Tangan Lansia di Komunitas. *Jurnal Kesehatan Vokasional*. 6(1): 61–69.

- Susilawati IDA. 2021. Kajian Pustaka: Sumber Reactive Oxygen Species (ROS) Vaskular. *Stomatognathic*. 18(1): 1–10.
- Sutoro, Hasan B, Ansar C, Kardi IS, Lelo DL. 2024. Biomotor Ability of Taekwondo Athletes as Promotion and Degradation. *Altius: Jurnal Ilmu Olahraga Dan Kesehatan*. 13(1): 66–79.
- Syapitri H, Amila, Aritonang J. 2021. *Buku Ajar Metodologi Penelitian Kesehatan*. Malang: Ahlimedia Press.
- Syukriadi A, Nuzuli, Rozi F. 2021. Profile Kondisi Fisik Umum Atlet Cabang Olahraga Muay Thai Aceh. *Jurnal Penjaskesrek*. 8(1): 56–68.
- Tambing A, Engka JNA, Wungouw HIS. 2020. Pengaruh Intensitas Latihan Beban terhadap Massa Otot. *Ebiomedik*. 8(1): 1–10.
- Tampubolon BD, Widyatmoko W. 2010. Kajian Standarisasi Bidang Olahraga. *Jurnal Standardisasi*. 12(1): 26–42.
- Tipa EW, Kawatu PA, Kalesaran AF. 2021. Hubungan Kebiasaan Merokok dengan Kapasitas Vital Paru pada Penambang Emas di Desa Tatelu Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Kesmas*. 10(3): 140–146.
- Trianingrum DP, Jatmiko T. 2022. Profil Kondisi Fisik Atlet Judo Puslatkab Tuban. *Jurnal Prestasi Olahraga*. 5(3): 50–57.
- United World Wrestling. 2020. *International Wrestling Rules*. Lausanne: United World Wrestling.
- Urry LA, Cain ML, Minorsky PV, Wasserman SA, Orr RB. 2020. *Campbell Biology Edisi Ke-12*. New York: Pearson
- Van Gerwen J, Shun-Shion AS, Fazakerley DJ. 2023. Insulin Signalling and Glut4 Trafficking in Insulin Resistance. *Biochemical Society Transactions*. 51(3): 1057–1069.
- Wahyuni S, Donie. 2020. VO₂max, Daya Ledak Otot Tungkai, Kelincahan dan Kelentukan Untuk Kebutuhan Kondisi Fisik Atlet Taekwondo. *Jurnal Patriot*. 2(2): 1–13.
- Wahyuningsih I, Yuni T, Rahmat A, Perani I, Ahmad K. 2024. Analisis Tes dan Pengukuran Handgrip Dynamometer dan Back and Leg Dynamometer untuk Guru-Guru PJOK Sekadau. *Jurnal Ilmiah Stok Bina Guna Medan*. 12(2): 197–207.
- Way KL, Hackett DA, Baker MK, Johnson NA. 2016. The Effect of Regular Exercise on Insulin Sensitivity in Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diabetes & Metabolism Journal*. 40(4): 253–269.

- Wendra, Rochmah EN, Fadhlurrohman W. 2023. The Effect of Physical Activity on The Muscle Strength of Obese People' Backs. *Jurnal Ilmu Kesehatan*. 17(2): 487–492.
- Wibowo SPK, Kusnanik NW, Wiriawan O. 2019. Pengaruh High Intensity Interval Training (HIIT) terhadap Daya Tahan Kardiovaskuler, Kecepatan, dan Kelincahan pada Usia 13-15 Tahun. *Journal of Sport Science and Education*. 4(2): 79–84.
- Widiastuti IAE. 2020. Respon Imun pada Olahraga. *Jurnal Kedokteran*. 9(2): 165–173.
- Widiatmika IMA, Permadi AW, Yasa IMA. 2024. Penerapan Latihan Aerobik Skipping terhadap Peningkatan VO₂max pada Pemain Voli Pria. *Jurnal Kesehatan Tadulako*. 10(1): 113–121.
- World Baseball Softball Confederation. 2022. Official Rules of Softball Fast Pitch. Lausanne: World Baseball Softball Confederation.
- World Baseball Softball Confederation. 2023. Official Rules of 2023-2024 Baseball. Lausanne: World Baseball Softball Confederation.
- World Karate Federation. 2024. World Karate Federation Kumite Competition Rules. Madrid : World Karate Federation.
- Wulandari DA, Kaidah S, Huldani H. 2022. Literature Review: Hubungan Kadar Hemoglobin dengan Nilai VO₂ Maks pada Atlet. *Homeostasis*. 5(2): 461–472.
- Wulandari R. 2023. Hubungan Usia dan Indeks Massa Tubuh dengan VO₂max pada Pemain Basket di Mataram Basketball School dan Bima Perkasa Academy. *Jurnal Ilmiah Fisioterapi*. 6(1): 1–5.
- Xiao H, Peng K, Sun L, Pan F. 2023. Effects of Anaerobic Exercise Training on Human Function Based on Multiple Linear Regression. *Frontiers in Physics*. 11 :1–10.
- Xu S, Wang R, Ma S, He B. 2024. Interventional Effect of Core Stability Training on Pain and Muscle Function of Youth With Chronic Non-Specific Lower Back Pain: A Randomized Controlled Trial. *Heliyon*. 10(12): 1–11.
- Yanti N. 2020. VO₂max Atlet Beladiri Kalimantan Barat Persiapan Pra-PON XX. *Seminar Nasional Keindonesiaan V Tahun 2020*. 220–232.
- Yaparak Y. 2013. The Effects of Back Extension Training on Back Muscle Strength and Spinal Range of Motion in Young Females. *Biology of Sport*. 30(3): 201–206.

Zahida F, Taufik FE, Muchtar D. 2019. Pengaruh Aktivitas Fisik Terstruktur terhadap Peningkatan Persentase Massa Otot pada Anggota Sanggar Senam. *Jurnal Profesi Medika*. 12(2): 39–45.