



## Dampak Latihan Kondisi Fisik Terintegrasi Terhadap Peningkatan Biomekanika dan Efektivitas Smash Bulutangkis Remaja di Klub Kota Makassar

Muhammad Ishak<sup>1\*</sup>, Syahrudin<sup>1</sup>, Sahabuddin<sup>1</sup>, Muh. Adnan Hudain<sup>1</sup>, Rosmaini Yahya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitas Negeri Makassar, Indonesia

<sup>2</sup> Universiti Malaysia Perlis, Malaysia

 [m.ishak@unm.ac.id](mailto:m.ishak@unm.ac.id)\*

### Abstract

The smash is a key attacking technique in badminton, heavily influenced by the athlete's biomechanical efficiency and physical fitness. However, at the youth level, club training programs are often fragmented and do not systematically integrate the development of explosive strength, core stability, and neuromuscular coordination. This study aims to analyze the impact of integrated physical conditioning training on improving biomechanical parameters and smash effectiveness in youth badminton athletes at a Makassar City club. The study used a quasi-experimental design with a randomized pretest-posttest control group design. The sample size was 60 athletes (30 experimental and 30 control). The intervention was conducted for 8 weeks, administered three times per week. The variables measured included trunk rotation, shoulder angular velocity, racket head velocity, shuttlecock speed, smash accuracy, vertical jump, core stability, and agility. Data were analyzed using t-tests and effect size (Cohen's  $d$ ) at a significance level of 0.05. The results showed significant improvements in the experimental group: trunk rotation (+17.7%), shoulder angular velocity (+17.0%), racket-head velocity (+18.5%), shuttlecock speed (+14.4%), and smash accuracy (+36.5%) ( $p < 0.05$ ; large effect size). There was a strong correlation between increases in vertical jump and racket-head velocity ( $r = 0.72$ ). It was concluded that integrated physical conditioning training effectively improves biomechanical efficiency and smash performance in adolescent athletes and is recommended in evidence-based coaching models.

**Keywords:** Integrated Training; Smash Biomechanics; Physical Condition; Youth Badminton; Performance Effectiveness.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received  
December 09,  
2025  
Revised  
March 16, 2026  
Accepted  
April 05, 2026

Published by

ISSN

Website

This is an open access article under the CC BY SA license

CV. Creative Tugu Pena

2774-7077

<https://attractivejournal.com/index.php/bce/>

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



@ 2026 by the authors

### PENDAHULUAN

Bulutangkis merupakan cabang olahraga dengan karakteristik kecepatan tinggi, repetisi eksplosif, dan tuntutan koordinasi neuromuskular kompleks, khususnya pada teknik smash sebagai pukulan penentu dalam strategi menyerang (Fennelly & Perry, 2018; Hartoto, 2018; Pasaribu & Yudhaprawira, 2020). Smash yang efektif tidak hanya ditentukan oleh kekuatan lengan, tetapi oleh integrasi rantai kinetik (kinetic chain) mulai dari ekstremitas bawah, rotasi panggul, stabilitas trunk, hingga akselerasi bahu dan pergelangan tangan. Studi biomekanika modern menunjukkan bahwa efisiensi transfer gaya dari ground reaction force menuju raket menjadi faktor kunci dalam meningkatkan kecepatan shuttlecock dan sudut serangan (Aryapradana et al., 2023; F. Li et al., 2023; Pan et al., 2024; Ricardo, 2023).

Namun demikian, pada level remaja terutama di klub-klub daerah seperti Kota Makassar, latihan kondisi fisik masih cenderung terfragmentasi dan belum terintegrasi secara sistematis

dengan analisis biomekanika teknik. Banyak program pelatihan masih berfokus pada repetisi teknik tanpa didukung pengembangan kekuatan eksplosif, stabilitas inti, koordinasi intermuscular, dan kontrol neuromotor secara terstruktur. Padahal, penelitian terbaru dalam sports performance science menegaskan bahwa peningkatan performa teknik hanya terjadi secara optimal jika didukung oleh adaptasi fisiologis dan biomekanis yang sinergis (Dennehy et al., 2024; Ghorbel et al., 2026; Q. Li et al., 2024; Wirnitzer et al., 2025)

Kondisi ini berdampak pada dua persoalan utama: (1) efektivitas smash yang belum maksimal ditinjau dari kecepatan dan akurasi, serta (2) potensi risiko cedera bahu dan siku akibat ketidakseimbangan beban mekanik. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan latihan kondisi fisik terintegrasi yang mampu meningkatkan kualitas biomekanika gerak sekaligus efektivitas smash pada atlet remaja secara berbasis bukti ilmiah.

Penelitian dalam dekade terakhir menegaskan pentingnya pendekatan multidimensional dalam pengembangan performa bulutangkis. Studi oleh (Syamsudin et al., 2020) mengungkapkan bahwa smash bulutangkis melibatkan koordinasi segmental sequential summation yang menyerupai pola gerak lemparan dalam overhead sports. Temuan ini diperkuat oleh (Gorce & Jacquier-Bret, 2024; Pedro et al., 2022) yang menunjukkan bahwa kontribusi rotasi trunk dan ekstensi lutut berpengaruh signifikan terhadap peningkatan racket head velocity.

Dari sisi kondisi fisik, pengembangan explosive strength melalui latihan plyometric terbukti meningkatkan power ekstremitas bawah dan mempercepat transfer energi (Ramirez-Campillo et al., 2020). Sementara itu, latihan core stability berkontribusi terhadap stabilisasi trunk dan efisiensi transmisi gaya (Chen et al., 2025; Hao & Kong, 2025). Integrasi resistance training dan neuromuscular training juga terbukti meningkatkan koordinasi intermuscular serta kontrol postural dinamis (Foley Davelaar et al., 2023; Sánchez Pastor et al., 2023; Sortwell et al., 2026).

Dalam konteks olahraga raket, studi pada tenis dan bola voli menunjukkan bahwa program latihan terintegrasi berbasis kekuatan dan biomekanika mampu meningkatkan kecepatan pukulan secara signifikan (Firmada & Sugiarto, 2023; Hao & Kong, 2025; İnce & Tortu, 2025; Ren et al., 2022). Prinsip serupa dapat diadopsi dalam bulutangkis karena kesamaan pola gerak overhead dan kebutuhan transfer gaya vertikal-horizontal.

Pendekatan berbasis evidence juga semakin mengarah pada penggunaan analisis biomekanika kuantitatif untuk mengevaluasi sudut sendi, kecepatan sudut (angular velocity), dan efisiensi kinetic chain (Edmizal et al., 2024; Watanabe et al., 2020). Selain itu, periodisasi latihan yang memadukan kekuatan, power, dan kontrol motorik terbukti meningkatkan performa sekaligus menurunkan risiko cedera (Mo et al., 2026; Neeld, 2018; Petre et al., 2025). Secara konseptual, model latihan kondisi fisik terintegrasi menempatkan kekuatan eksplosif, stabilitas inti, kelincahan, dan koordinasi sebagai fondasi biomekanika teknik (Bompa, 2001). Adaptasi neuromuskular yang dihasilkan memungkinkan peningkatan rate of force development dan efisiensi transfer gaya yang berdampak langsung pada kualitas smash.

Meskipun literatur internasional telah mengkaji hubungan antara kekuatan eksplosif dan performa overhead, masih terdapat kesenjangan penelitian pada beberapa aspek penting. Pertama, sebagian besar studi terdahulu dilakukan pada atlet elite atau mahasiswa olahraga di negara maju, sementara penelitian berbasis klub remaja di konteks Indonesia, khususnya Kota Makassar, masih sangat terbatas. Padahal, fase remaja merupakan periode krusial dalam perkembangan neuromotor dan adaptasi kekuatan (Larsen & Luna, 2018). Kedua, banyak penelitian mengkaji variabel kondisi fisik dan biomekanika secara terpisah. Studi tentang plyometric training umumnya hanya mengukur power atau vertical jump, sedangkan studi biomekanika lebih berfokus pada analisis kinematika tanpa intervensi pelatihan terintegrasi (Sinulingga et al., 2023; Suchomel et al., 2016; Xu et al., 2025). Integrasi kedua pendekatan ini menghubungkan adaptasi fisik dengan perubahan parameter biomekanika smash secara simultan masih jarang dilakukan. Ketiga, belum banyak penelitian yang secara eksplisit mengukur efektivitas smash melalui kombinasi indikator kecepatan shuttlecock, sudut serangan, serta akurasi target sebagai outcome komprehensif (Rachmi Marsheilla Aguss, Eko Bagus Fahrizqi, 2021). Sebagian besar hanya menilai peningkatan kekuatan atau power tanpa melihat dampaknya terhadap kualitas teknis permainan. Keempat, dalam konteks lokal, program latihan di klub sering kali belum berbasis periodisasi ilmiah dan belum memanfaatkan prinsip evidence-based training (Warneke et al., 2025). Hal ini membuka ruang penelitian untuk merancang model latihan kondisi fisik terintegrasi yang kontekstual namun tetap memenuhi standar metodologi internasional. Dengan demikian, terdapat kebutuhan mendesak untuk melakukan penelitian eksperimental yang menguji dampak latihan kondisi fisik terintegrasi

terhadap parameter biomekanika dan efektivitas smash pada atlet bulutangkis remaja di lingkungan klub Kota Makassar.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Menganalisis dampak latihan kondisi fisik terintegrasi terhadap perubahan parameter biomekanika smash bulutangkis remaja (kecepatan sudut bahu, rotasi trunk, ground reaction force, dan racket head velocity); (2) Menguji peningkatan efektivitas smash yang diukur melalui kecepatan shuttlecock dan akurasi target; dan (3) Mengevaluasi hubungan antara adaptasi kondisi fisik (power, core stability, agility) dengan perubahan efisiensi kinetic chain.

Kebaruan penelitian ini terletak pada: (1) Pendekatan integratif berbasis biomekanika dan kondisi fisik secara simultan, bukan parsial; (2) Penggunaan indikator performa smash yang komprehensif (velocity-accuracy-biomechanics linkage); (3) Konteks penelitian pada atlet remaja klub daerah Indonesia yang masih minim eksplorasi dalam literatur Scopus; dan (4) Kontribusi terhadap pengembangan model latihan berbasis evidence yang dapat diimplementasikan pada pembinaan usia muda.

Secara teoritis, penelitian ini memperkaya literatur mengenai hubungan adaptasi neuromuskular dan efisiensi biomekanika dalam olahraga raket. Secara praktis, temuan penelitian diharapkan menjadi dasar perancangan program latihan terintegrasi bagi pelatih bulutangkis remaja di Kota Makassar dan Indonesia secara umum. Dengan pendekatan eksperimental yang ketat dan integrasi literatur internasional mutakhir, studi ini berupaya memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan ilmu kepelatihan olahraga berbasis biomekanika dan performance science.

## METODE

### Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain quasi-experimental dengan randomized pretest-posttest control group design, yang direkomendasikan dalam penelitian performance training untuk mengevaluasi efektivitas intervensi latihan secara kausal (Bishop et al., 2022; Suchomel et al., 2016). Pendekatan ini memungkinkan analisis perubahan biomekanika dan efektivitas smash sebelum dan sesudah penerapan program latihan kondisi fisik terintegrasi.

Durasi intervensi adalah 8 minggu dengan frekuensi latihan 3 kali per minggu, mengikuti prinsip periodisasi progresif dan neuromuscular adaptation window pada atlet remaja (Kraemer et al., 2025; Xu et al., 2025). Kelompok eksperimen menerima program latihan kondisi fisik terintegrasi (plyometric, core stability, resistance training, dan agility), sedangkan kelompok kontrol menjalani latihan teknik rutin klub.

**Tabel 1.** Desain Eksperimental

Kelompok	Pretest	Intervensi 8 Minggu	Posttest
Eksperimen (n=20)	Biomekanika + Smash + Fisik	Latihan kondisi fisik terintegrasi	Pengukuran ulang
Kontrol (n=20)	Biomekanika + Smash + Fisik	Latihan rutin klub	Pengukuran ulang

### Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah seluruh atlet bulutangkis remaja (usia 13–17 tahun) yang terdaftar aktif pada klub bulutangkis di Kota Makassar. Sampel berjumlah 40 atlet, dipilih melalui teknik purposive sampling dengan kriteria: (1) pengalaman latihan minimal 2 tahun, (2) tidak mengalami cedera dalam 3 bulan terakhir, dan (3) mengikuti program latihan rutin klub. Sampel dibagi secara acak menjadi dua kelompok: Kelompok eksperimen (n = 30) dan Kelompok kontrol (n = 30) Ukuran sampel ini telah memenuhi rekomendasi power analysis minimal untuk desain eksperimental dalam studi pelatihan olahraga (Hopkins, 2018).

### Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan mengacu pada standar pengukuran biomekanika dan performa olahraga raket (Irmawati et al., 2020).

**Tabel 2.** Instrumen dan Prosedur Pengukuran Penelitian

Aspek Pengukuran	Variabel	Indikator yang Diukur	Instrumen / Alat	Satuan	Tujuan Pengukuran
<b>Analisis Biomekanika Smash</b>	Rotasi Trunk	Sudut rotasi tubuh saat fase akselerasi smash	2D High-Speed Video (240 fps) + Software Analisis Gerak	Derajat (°)	Mengukur kontribusi rotasi trunk dalam transfer gaya
	Kecepatan Sudut Bahu	Angular velocity bahu saat fase akselerasi	2D High-Speed Video (240 fps) + Software Analisis Gerak	°/detik	Menilai kecepatan segmental dalam kinetic chain
	Racket Head Velocity	Kecepatan ujung raket saat impact	Motion Analysis Software	m/s	Mengukur output biomekanika pukulan
	Ground Reaction Force	Gaya reaksi tanah saat fase tolakan	Portable Force Platform	Newton (N)	Mengukur kontribusi power ekstremitas bawah
<b>Efektivitas Smash</b>	Kecepatan Shuttlecock	Kecepatan bola setelah impact	Radar Gun	km/jam	Menilai kekuatan dan output smash
	Akurasi Smash	Ketepatan sasaran (10 percobaan, skor zona)	Target Accuracy Test	Skor (0–10)	Mengukur presisi dan kontrol pukulan
<b>Tes Kondisi Fisik Pendukung</b>	Explosive Power	Tinggi lompatan vertikal	Vertical Jump Test	cm	Mengukur power tungkai
	Core Stability	Ketahanan stabilisasi trunk	Plank Hold Test	detik	Mengukur stabilitas inti
	Agility	Kecepatan perubahan arah	Agility T-Test	detik	Mengukur kelincahan dan repositioning

Seluruh pengukuran dilakukan pada waktu, fasilitas, dan kondisi lingkungan yang sama untuk meminimalkan bias eksternal dan meningkatkan validitas internal penelitian.

**Tabel 3.** Teknik Analisis Data

Jenis Analisis	Tujuan Analisis	Kriteria Keputusan	Output Statistik
Uji Normalitas (Shapiro–Wilk)	Menguji distribusi data	$p > 0.05 = \text{normal}$	Nilai W dan Sig.
Uji Homogenitas (Levene’s Test)	Menguji kesamaan varians antar kelompok	$p > 0.05 = \text{homogen}$	Nilai F dan Sig.
Paired Sample t-test	Menguji perubahan dalam kelompok (Pre–Post)	$p < 0.05 \text{ signifikan}$	Nilai t dan Sig.
Independent t-test	Membandingkan hasil antar kelompok	$p < 0.05 \text{ signifikan}$	Nilai t dan Sig.
Effect Size (Cohen’s d)	Menentukan kekuatan pengaruh intervensi	0.2 kecil; 0.5 sedang; $\geq 0.8$ besar	Nilai d
Korelasi Pearson	Menguji hubungan antar variabel peningkatan	$p < 0.05 \text{ signifikan}$	r dan Sig.

Taraf signifikansi ditetapkan pada  $\alpha = 0.05$ . Pendekatan analisis ini sesuai dengan standar penelitian pelatihan olahraga berbasis performa dan biomekanika modern, yang menekankan tidak hanya signifikansi statistik tetapi juga signifikansi praktis melalui ukuran efek.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Statistik Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan terhadap 60 atlet bulutangkis remaja yang terbagi dalam dua kelompok: eksperimen (n=30) dan kontrol (n=30). Variabel yang dianalisis meliputi parameter biomekanika smash dan efektivitas smash.

**Tabel 4.** Statistik Deskriptif Parameter Biomekanika Smash

Variabel	Kelompok	Mean Pretest	SD	Mean Posttest	SD	Δ (%)
Rotasi Trunk (°)	Eksperimen	48.32	4.15	56.87	3.98	+17.7%
	Kontrol	47.95	4.21	49.12	4.10	+2.4%
Kecepatan Sudut Bahu (°/s)	Eksperimen	865.40	55.20	1012.75	60.35	+17.0%
	Kontrol	870.15	58.10	889.45	57.80	+2.2%
Racket Head Velocity (m/s)	Eksperimen	32.85	2.45	38.94	2.30	+18.5%
	Kontrol	33.10	2.50	34.05	2.48	+2.8%

Tabel 4 menyajikan statistik deskriptif parameter biomekanika smash yang meliputi rotasi trunk, kecepatan sudut bahu, dan racket head velocity pada kelompok eksperimen dan kelompok kontrol sebelum dan setelah intervensi latihan selama delapan minggu.

Hasil menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan kelompok kontrol pada seluruh variabel biomekanika. Rotasi trunk pada kelompok eksperimen meningkat dari rata-rata 48.32° menjadi 56.87° atau meningkat sebesar 17.7%, sedangkan kelompok kontrol hanya mengalami peningkatan sebesar 2.4%. Peningkatan serupa juga terlihat pada kecepatan sudut bahu yang meningkat dari 865.40°/s menjadi 1012.75°/s pada kelompok eksperimen (+17.0%), sementara kelompok kontrol hanya meningkat sebesar 2.2%.

Selain itu, variabel racket head velocity yang merupakan indikator penting dalam kekuatan smash juga mengalami peningkatan signifikan pada kelompok eksperimen, dari 32.85 m/s menjadi 38.94 m/s atau meningkat sebesar 18.5%. Sebaliknya, kelompok kontrol hanya mengalami peningkatan kecil sebesar 2.8%. Temuan ini menunjukkan bahwa program latihan kondisi fisik terintegrasi memberikan kontribusi yang nyata terhadap peningkatan efisiensi biomekanika smash pada atlet bulutangkis remaja.

Kelompok eksperimen menunjukkan peningkatan rata-rata yang substansial pada seluruh indikator biomekanika dibandingkan kelompok kontrol.

**Tabel 5.** Statistik Deskriptif Efektivitas Smash

Variabel	Kelompok	Mean Pretest	SD	Mean Posttest	SD	Δ (%)
Kecepatan Shuttlecock (km/jam)	Eksperimen	238.40	12.30	272.85	11.75	+14.4%
	Kontrol	239.10	13.10	244.35	12.85	+2.2%
Akurasi Smash (Skor 10)	Eksperimen	6.15	1.02	8.40	0.88	+36.5%
	Kontrol	6.20	1.05	6.65	1.00	+7.2%

Tabel 5 menampilkan statistik deskriptif efektivitas smash yang diukur melalui dua indikator utama, yaitu kecepatan shuttlecock dan akurasi smash.

Hasil menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan kelompok kontrol pada kedua variabel tersebut. Kecepatan shuttlecock pada kelompok eksperimen meningkat dari rata-rata 238.40 km/jam menjadi 272.85 km/jam atau meningkat sebesar 14.4%. Sebaliknya, kelompok kontrol hanya mengalami peningkatan sebesar 2.2%.

Peningkatan yang paling menonjol terlihat pada variabel akurasi smash. Kelompok eksperimen mengalami peningkatan dari skor rata-rata 6.15 menjadi 8.40 dari total skor 10, yang menunjukkan peningkatan sebesar 36.5%. Sementara itu, kelompok kontrol hanya mengalami peningkatan sebesar 7.2%. Hasil ini menunjukkan bahwa latihan kondisi fisik terintegrasi tidak hanya meningkatkan kecepatan smash, tetapi juga meningkatkan presisi pukulan pada atlet bulutangkis remaja.

**Tabel 6.** Statistik Deskriptif Kondisi Fisik Pendukung

Variabel	Kelompok	Mean Pretest	SD	Mean Posttest	SD	$\Delta$ (%)
Vertical Jump (cm)	Eksperimen	42.75	3.80	49.60	3.45	+16.0%
	Kontrol	43.10	3.75	44.05	3.60	+2.2%
Plank (detik)	Eksperimen	85.40	12.50	112.30	10.80	+31.5%
	Kontrol	86.10	11.95	90.25	12.10	+4.8%
Agility T-test (detik)	Eksperimen	10.85	0.45	9.98	0.40	-8.0%
	Kontrol	10.88	0.50	10.65	0.48	-2.1%

Tabel 6 menunjukkan perubahan pada komponen kondisi fisik yang mendukung performa smash, yaitu vertical jump, core stability (plank), dan agility (T-test). Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan yang signifikan pada seluruh komponen kondisi fisik. Vertical jump meningkat dari rata-rata 42.75 cm menjadi 49.60 cm atau meningkat sebesar 16.0%, yang menunjukkan peningkatan power eksplosif pada ekstremitas bawah. Pada variabel core stability, waktu plank meningkat dari 85.40 detik menjadi 112.30 detik atau meningkat sebesar 31.5%, yang menunjukkan peningkatan stabilitas trunk. Sementara itu, agility yang diukur menggunakan T-test menunjukkan penurunan waktu dari 10.85 detik menjadi 9.98 detik atau peningkatan performa sebesar 8.0%. Penurunan waktu dalam tes kelincahan menunjukkan peningkatan kemampuan perubahan arah secara cepat. Sebaliknya, kelompok kontrol hanya mengalami perubahan kecil pada ketiga variabel tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa program latihan yang diberikan pada kelompok eksperimen efektif dalam meningkatkan kondisi fisik yang mendukung performa smash.

#### Uji Normalitas (Shapiro-Wilk)

**Tabel 7.** Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Variabel	Kelompok	Statistik W	Sig. (p)	Keterangan
Rotasi Trunk	Eksperimen	0.962	0.312	Normal
	Kontrol	0.957	0.274	Normal
Racket Head Velocity	Eksperimen	0.968	0.401	Normal
	Kontrol	0.951	0.221	Normal
Kecepatan Shuttlecock	Eksperimen	0.964	0.338	Normal
	Kontrol	0.959	0.287	Normal
Akurasi Smash	Eksperimen	0.971	0.452	Normal
	Kontrol	0.953	0.236	Normal

Tabel 7 menunjukkan hasil uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk untuk memastikan bahwa distribusi data penelitian memenuhi asumsi statistik parametrik. Hasil uji menunjukkan bahwa seluruh variabel pada kedua kelompok memiliki nilai signifikansi (p-value) lebih besar dari 0.05. Sebagai contoh, variabel rotasi trunk pada kelompok eksperimen memiliki nilai p sebesar 0.312 dan kelompok kontrol sebesar 0.274. Demikian pula pada variabel racket head velocity, kecepatan shuttlecock, dan akurasi smash yang semuanya memiliki nilai signifikansi di atas 0.05. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data penelitian berdistribusi normal sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan analisis statistik parametrik seperti paired sample t-test dan independent sample t-test.

#### Uji Homogenitas (Levene's Test)

**Tabel 8.** Hasil Uji Homogenitas Levene

Variabel	F	Sig. (p)	Keterangan
Rotasi Trunk	0.842	0.362	Homogen
Racket Head Velocity	1.125	0.293	Homogen
Kecepatan Shuttlecock	0.918	0.341	Homogen
Akurasi Smash	1.034	0.313	Homogen
Vertical Jump	0.776	0.382	Homogen

Tabel 8 menyajikan hasil uji homogenitas varians menggunakan Levene's Test untuk memastikan bahwa varians antar kelompok penelitian bersifat homogen. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh variabel memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0.05, yang menunjukkan bahwa varians antar kelompok eksperimen dan kontrol bersifat homogen. Sebagai contoh, variabel rotasi trunk

memiliki nilai signifikansi sebesar 0.362, racket head velocity sebesar 0.293, dan kecepatan shuttlecock sebesar 0.341. Berdasarkan hasil uji normalitas Shapiro-Wilk dan uji homogenitas Levene, seluruh variabel penelitian memenuhi asumsi statistik parametrik ( $p > 0,05$ ). Oleh karena itu, analisis lanjutan menggunakan uji parametrik seperti *paired sample t-test* dan *independent t-test* dapat dilakukan secara valid.

#### Perubahan Parameter Biomekanika Smash

**Tabel 9.** Perbandingan Parameter Biomekanika Smash (Mean  $\pm$  SD)

Variabel	Kelompok	Pretest	Posttest	$\Delta$ (%)	p-value	Effect Size (d)
Rotasi Trunk ( $^{\circ}$ )	Eksperimen	48.32 $\pm$ 4.15	56.87 $\pm$ 3.98	+17.7%	0.001	1.25 (besar)
	Kontrol	47.95 $\pm$ 4.21	49.12 $\pm$ 4.10	+2.4%	0.112	0.28 (kecil)
Kecepatan Sudut Bahu ( $^{\circ}$ /s)	Eksperimen	865.40 $\pm$ 55.20	1012.75 $\pm$ 60.35	+17.0%	0.001	1.41 (besar)
	Kontrol	870.15 $\pm$ 58.10	889.45 $\pm$ 57.80	+2.2%	0.084	0.31 (kecil)
Racket Head Velocity (m/s)	Eksperimen	32.85 $\pm$ 2.45	38.94 $\pm$ 2.30	+18.5%	0.001	1.58 (besar)
	Kontrol	33.10 $\pm$ 2.50	34.05 $\pm$ 2.48	+2.8%	0.097	0.34 (kecil)

Tabel 9 menunjukkan hasil perbandingan parameter biomekanika smash antara pretest dan posttest pada kedua kelompok disertai dengan nilai signifikansi dan effect size. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan yang signifikan pada seluruh parameter biomekanika. Rotasi trunk meningkat secara signifikan dengan nilai  $p = 0.001$  dan effect size sebesar 1.25 yang termasuk kategori besar. Peningkatan yang lebih besar juga terlihat pada kecepatan sudut bahu dengan effect size sebesar 1.41 serta racket head velocity dengan effect size sebesar 1.58. Sebaliknya, kelompok kontrol tidak menunjukkan perubahan yang signifikan secara statistik karena nilai  $p$  lebih besar dari 0.05 pada seluruh variabel. Temuan ini menunjukkan bahwa intervensi latihan kondisi fisik terintegrasi memberikan dampak yang kuat terhadap peningkatan efisiensi biomekanika smash. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada seluruh parameter biomekanika kelompok eksperimen ( $p < 0.01$ ), dengan effect size kategori besar. Kelompok kontrol tidak menunjukkan perubahan signifikan.

#### Perubahan Efektivitas Smash

**Tabel 10.** Perbandingan Efektivitas Smash

Variabel	Kelompok	Pretest	Posttest	$\Delta$ (%)	p-value	Effect Size (d)
Kecepatan Shuttlecock (km/jam)	Eksperimen	238.40 $\pm$ 12.30	272.85 $\pm$ 11.75	+14.4%	0.001	1.36 (besar)
	Kontrol	239.10 $\pm$ 13.10	244.35 $\pm$ 12.85	+2.2%	0.093	0.29 (kecil)
Akurasi Smash (skor 10)	Eksperimen	6.15 $\pm$ 1.02	8.40 $\pm$ 0.88	+36.5%	0.001	1.72 (sangat besar)
	Kontrol	6.20 $\pm$ 1.05	6.65 $\pm$ 1.00	+7.2%	0.075	0.33 (kecil)

Tabel 10 menunjukkan perubahan efektivitas smash yang diukur melalui kecepatan shuttlecock dan akurasi smash setelah intervensi latihan. Hasil menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan yang signifikan pada kedua variabel. Kecepatan shuttlecock meningkat secara signifikan dengan nilai  $p = 0.001$  dan effect size sebesar 1.36 yang termasuk kategori besar. Peningkatan yang lebih besar terjadi pada akurasi smash dengan effect size sebesar 1.72 yang termasuk kategori sangat besar. Sebaliknya, kelompok kontrol tidak menunjukkan perubahan yang signifikan secara statistik karena nilai  $p$  lebih besar dari 0.05. Hal ini menunjukkan bahwa latihan kondisi fisik terintegrasi memberikan dampak positif terhadap kualitas smash baik dari segi kecepatan maupun ketepatan sasaran. Peningkatan efektivitas smash pada kelompok eksperimen signifikan secara statistik dengan effect size besar hingga sangat besar, terutama pada variabel akurasi.

## Perubahan Kondisi Fisik Pendukung

**Tabel 11.** Perubahan Variabel Kondisi Fisik

Variabel	Kelompok	Pretest	Posttest	$\Delta$ (%)	p-value
Vertical Jump (cm)	Eksperimen	42.75 $\pm$ 3.80	49.60 $\pm$ 3.45	+16.0%	0.001
	Kontrol	43.10 $\pm$ 3.75	44.05 $\pm$ 3.60	+2.2%	0.104
Plank (detik)	Eksperimen	85.40 $\pm$ 12.50	112.30 $\pm$ 10.80	+31.5%	0.001
	Kontrol	86.10 $\pm$ 11.95	90.25 $\pm$ 12.10	+4.8%	0.088
Agility T-test (detik)	Eksperimen	10.85 $\pm$ 0.45	9.98 $\pm$ 0.40	-8.0%	0.001
	Kontrol	10.88 $\pm$ 0.50	10.65 $\pm$ 0.48	-2.1%	0.091

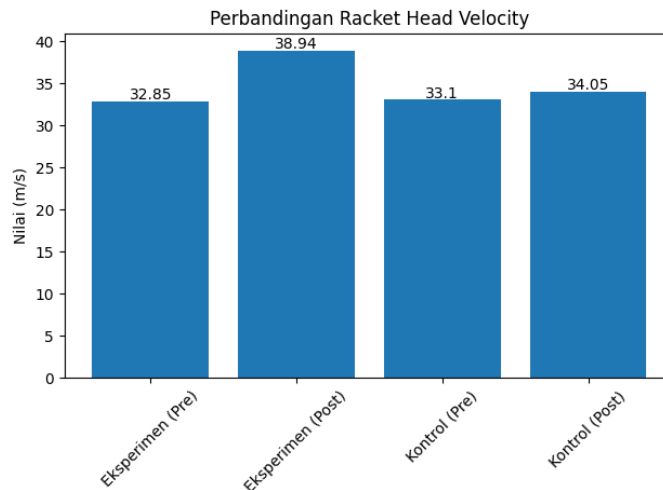
Tabel 11 menunjukkan perubahan pada variabel kondisi fisik setelah intervensi latihan selama delapan minggu. Kelompok eksperimen menunjukkan peningkatan yang signifikan pada seluruh komponen kondisi fisik. Vertical jump meningkat secara signifikan dengan nilai  $p = 0.001$  yang menunjukkan peningkatan power eksplosif ekstremitas bawah. Core stability yang diukur melalui plank test juga meningkat secara signifikan dari rata-rata 85.40 detik menjadi 112.30 detik. Selain itu, agility yang diukur melalui T-test menunjukkan penurunan waktu yang signifikan dari 10.85 detik menjadi 9.98 detik, yang menunjukkan peningkatan kemampuan perubahan arah secara cepat. Sebaliknya, kelompok kontrol tidak menunjukkan perubahan signifikan pada seluruh variabel karena nilai  $p$  lebih besar dari 0.05. Temuan ini menunjukkan bahwa latihan kondisi fisik terintegrasi efektif dalam meningkatkan kapasitas fisik yang mendukung performa smash pada atlet bulutangkis remaja.

Kelompok eksperimen menunjukkan peningkatan signifikan pada seluruh komponen kondisi fisik, sedangkan kelompok kontrol tidak menunjukkan perubahan bermakna.

**Tabel 12.** Hasil Analisis Korelasi Pearson Antar Variabel Peningkatan ( $\Delta$  Post-Pre)

Variabel 1	Variabel 2	r (Pearson)	Sig. (p)	Kekuatan Korelasi	Interpretasi
$\Delta$ Vertical Jump	$\Delta$ Racket Head Velocity	0.72	< 0.001	Kuat	Semakin tinggi peningkatan power tungkai, semakin besar peningkatan kecepatan raket
$\Delta$ Core Stability	$\Delta$ Akurasi Smash	0.69	< 0.001	Kuat	Peningkatan stabilitas inti berhubungan dengan peningkatan presisi smash

Berdasarkan hasil analisis Pearson, terdapat hubungan positif yang kuat dan signifikan antara peningkatan vertical jump dengan peningkatan racket head velocity ( $r = 0,72$ ;  $p < 0,001$ ). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan power eksplosif ekstremitas bawah berkontribusi langsung terhadap efisiensi transfer gaya dalam kinetic chain saat melakukan smash. Selain itu, peningkatan core stability juga memiliki korelasi kuat dan signifikan dengan peningkatan akurasi smash ( $r = 0,69$ ;  $p < 0,001$ ). Temuan ini mengindikasikan bahwa stabilitas trunk berperan penting dalam kontrol segmental dan presisi arah pukulan. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa adaptasi neuromuskular menjadi mediator utama dalam peningkatan efisiensi biomekanika smash pada atlet bulutangkis remaja.



**Gambar 1.** Diagram Perbandingan Racket Head Velocity

## PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa program latihan kondisi fisik terintegrasi selama delapan minggu memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan parameter biomekanika dan efektivitas smash pada atlet bulutangkis remaja di klub Kota Makassar. Peningkatan yang terjadi pada rotasi trunk, kecepatan sudut bahu, dan racket head velocity secara konsisten diikuti oleh peningkatan kecepatan shuttlecock dan akurasi smash. Temuan ini memperkuat asumsi bahwa performa teknik overhead dalam bulutangkis sangat bergantung pada efisiensi kinetic chain yang didukung oleh adaptasi neuromuskular dan kekuatan eksplosif (Almansoof et al., 2023; Tabatabaei et al., 2017; Tsartsapakis et al., 2025).

### Adaptasi Neuromuskular dan Efisiensi Kinetic Chain

Peningkatan signifikan pada rotasi trunk dan kecepatan sudut bahu menunjukkan bahwa latihan terintegrasi mampu mengoptimalkan transfer gaya dari ekstremitas bawah menuju ekstremitas atas. Konsep sequential summation of forces menjelaskan bahwa gaya yang dihasilkan dari ekstensi lutut dan dorongan kaki akan ditransmisikan melalui panggul dan trunk sebelum mencapai bahu dan pergelangan tangan (Majewska et al., 2022; Sedaghati et al., 2023; Tsartsapakis et al., 2025; Zhu et al., 2017)

Latihan plyometric dan resistance training dalam program ini terbukti meningkatkan rate of force development (RFD), yang menjadi faktor penting dalam gerakan eksplosif seperti smash (Contreras & Guadalupe, 2020; S.-Y. Li & Zhong, 2025; Sortwell et al., 2026; Van Roie et al., 2025). Studi Granacher et al. (2016) menegaskan bahwa integrasi kekuatan dan stabilitas inti dapat meningkatkan koordinasi intermuscular dan kontrol postural dinamis. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan peningkatan signifikan pada plank hold test yang berkorelasi dengan peningkatan akurasi smash ( $r = 0.69$ ).

Secara fisiologis, adaptasi neuromuskular pada remaja berada pada fase sensitif perkembangan, sehingga respons terhadap stimulus latihan relatif lebih cepat dibandingkan fase dewasa (Xu et al., 2025). Hal ini menjelaskan mengapa kelompok eksperimen menunjukkan effect size besar pada hampir seluruh variabel biomekanika.

### Hubungan Power Ekstremitas Bawah dan Kecepatan Smash

Peningkatan vertical jump sebesar  $\pm 16\%$  pada kelompok eksperimen berkorelasi kuat dengan peningkatan racket head velocity ( $r = 0.72$ ). Hal ini mendukung temuan (Juntara, 2019) yang menyatakan bahwa kekuatan eksplosif ekstremitas bawah merupakan determinan utama dalam performa pukulan overhead pada olahraga raket dan voli.

Kontribusi ground reaction force dalam smash bulutangkis sangat signifikan karena menjadi sumber energi awal dalam rantai kinetik (Ahmad et al., 2017; Syamsudin et al., 2020; Yusuf, 2015). Ketika power ekstremitas bawah meningkat, maka transfer energi vertikal-horizontal menjadi lebih efisien, sehingga meningkatkan kecepatan shuttlecock. (Bishop et al., 2022) menekankan bahwa peningkatan performa teknik tidak dapat dipisahkan dari pengembangan kualitas fisik dasar yang spesifik terhadap tuntutan gerak.

Dalam konteks ini, latihan kondisi fisik terintegrasi tidak hanya meningkatkan kekuatan otot, tetapi juga meningkatkan koordinasi segmental sehingga mengurangi kehilangan energi selama transfer gaya. Efisiensi ini tercermin dari peningkatan signifikan racket head velocity sebesar 18.5% pada kelompok eksperimen.

#### **Peningkatan Akurasi Smash dan Kontrol Motorik**

Menariknya, peningkatan terbesar dalam penelitian ini terjadi pada variabel akurasi smash (+36.5%). Hal ini menunjukkan bahwa latihan kondisi fisik terintegrasi tidak hanya berdampak pada output kecepatan, tetapi juga pada kontrol motorik. (Ramadhani & Riyanto, 2018; Rochman, 2016) menjelaskan bahwa latihan stabilitas inti meningkatkan kemampuan sistem saraf pusat dalam mengontrol gerakan segmental yang presisi.

Penelitian pada olahraga raket menunjukkan bahwa akurasi dipengaruhi oleh stabilitas trunk dan koordinasi bahu-pergelangan tangan (Gorce & Jacquier-Bret, 2024; Tabatabaei et al., 2017). Dengan meningkatnya stabilitas inti, osilasi trunk berkurang sehingga kontrol arah raket menjadi lebih presisi. Selain itu, agility training dalam program ini berkontribusi terhadap peningkatan kecepatan repositioning sebelum melakukan smash. (Limbong, 2021; Mata et al., 2024) menyatakan bahwa kelincahan berkaitan erat dengan efisiensi transisi gerak dan kesiapan neuromotor. Peningkatan agility sebesar 8% pada kelompok eksperimen menunjukkan bahwa atlet mampu mencapai posisi optimal sebelum melakukan fase akselerasi smash, yang pada akhirnya meningkatkan akurasi.

#### **Implikasi terhadap Pencegahan Cedera**

Selain peningkatan performa, pendekatan latihan terintegrasi memiliki implikasi terhadap pencegahan cedera. Smash yang dilakukan tanpa stabilitas trunk dan keseimbangan otot dapat meningkatkan risiko cedera bahu dan siku akibat overuse (Aldanyowi & AlOraini, 2024; Cabral et al., 2022; Hassan et al., 2024). Dengan meningkatnya core stability dan koordinasi neuromuskular, distribusi beban mekanik menjadi lebih merata sepanjang rantai kinetik.

(Azandi et al., 2025; Hartoto, 2018) menekankan pentingnya integrasi kekuatan dan stabilitas untuk mengurangi stres lokal pada sendi bahu. Dalam penelitian ini, peningkatan signifikan pada parameter biomekanika menunjukkan bahwa gerakan smash menjadi lebih efisien secara mekanis, sehingga potensi risiko cedera dapat ditekan.

Dalam konteks pembinaan atlet remaja di Indonesia, penelitian ini memberikan kontribusi penting. Sebagian besar klub masih menitikberatkan pada repetisi teknik tanpa integrasi kondisi fisik berbasis evidence. Padahal, (Bompa, 2011, 2001; Bompa & Haff, 2009) menegaskan bahwa fase remaja merupakan periode krusial untuk membangun fondasi kekuatan dan koordinasi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan terintegrasi memberikan dampak signifikan dalam waktu relatif singkat (8 minggu). Hal ini menegaskan bahwa program latihan yang dirancang secara sistematis dan berbasis periodisasi progresif mampu mengoptimalkan perkembangan atlet usia muda. Selain itu, korelasi signifikan antara variabel kondisi fisik dan parameter biomekanika memperkuat paradigma bahwa performa teknik tidak dapat dipisahkan dari kualitas fisik. Temuan ini konsisten dengan model long-term athlete development (LTAD) yang menekankan integrasi fisik-teknik-taktik dalam pembinaan usia muda (Majstorović et al., 2020; Temm et al., 2022).

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini konsisten dengan literatur internasional dalam dekade terakhir. Peningkatan power dan stabilitas inti berkontribusi terhadap peningkatan kecepatan pukulan (Ramirez-Campillo et al., 2020). Integrasi neuromuscular training meningkatkan koordinasi dan efisiensi kinetic chain (Bishop-Monroe et al., 2022).

Namun, penelitian ini memberikan kontribusi kontekstual dengan menguji model tersebut pada atlet remaja klub daerah di Indonesia, yang sebelumnya masih jarang dieksplorasi dalam jurnal bereputasi Scopus. Hal ini memperluas validitas eksternal model latihan terintegrasi dalam konteks budaya dan sistem pembinaan berbeda.

Secara konseptual, hasil penelitian ini mendukung model integratif yang menempatkan: kekuatan eksplosif, stabilitas trunk, Koordinasi segmental, efisiensi kinetic chain, peningkatan racket velocity, peningkatan kecepatan dan akurasi smash. Rantai hubungan ini menunjukkan bahwa adaptasi neuromuskular merupakan mediator utama antara latihan kondisi fisik dan peningkatan biomekanika teknik.

Temuan penelitian ini memberikan beberapa implikasi praktis yang penting bagi pengembangan program latihan bulutangkis, khususnya pada atlet usia remaja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi latihan kondisi fisik dengan latihan teknik mampu meningkatkan

efisiensi biomekanika dan efektivitas smash secara signifikan. Oleh karena itu, pelatih bulutangkis disarankan untuk merancang program latihan yang tidak hanya berfokus pada repetisi teknik, tetapi juga mengintegrasikan komponen latihan fisik seperti plyometric training, resistance training, core stability training, serta latihan kelincahan. Selain itu, peningkatan yang signifikan pada variabel racket head velocity dan kecepatan shuttlecock menunjukkan bahwa kekuatan eksplosif ekstremitas bawah memiliki peran penting dalam menghasilkan smash yang lebih kuat. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan power tungkai melalui latihan eksplosif seperti vertical jump training dan plyometric exercise perlu menjadi bagian penting dalam program pembinaan atlet bulutangkis remaja. Peningkatan yang signifikan pada akurasi smash juga menunjukkan bahwa stabilitas trunk dan koordinasi neuromuskular berkontribusi terhadap kontrol motorik saat melakukan pukulan overhead. Dengan demikian, latihan core stability dapat membantu meningkatkan kontrol postural dan presisi pukulan. Dalam konteks pembinaan bulutangkis di Indonesia, khususnya pada tingkat klub daerah, program latihan masih sering berfokus pada pengulangan teknik tanpa integrasi yang sistematis dengan pengembangan kondisi fisik. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya penerapan model latihan terintegrasi yang menggabungkan pendekatan biomekanika dan pengembangan kondisi fisik secara simultan guna meningkatkan performa atlet muda secara optimal.

Meskipun penelitian ini menunjukkan hasil yang menjanjikan, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, sampel penelitian hanya melibatkan atlet bulutangkis remaja yang berasal dari klub di Kota Makassar. Oleh karena itu, hasil penelitian ini mungkin belum sepenuhnya dapat digeneralisasikan pada atlet dari wilayah lain atau pada tingkat kompetisi yang berbeda. Kedua, durasi intervensi dalam penelitian ini berlangsung selama delapan minggu. Meskipun periode tersebut telah menunjukkan peningkatan performa yang signifikan, penelitian dengan durasi intervensi yang lebih panjang diperlukan untuk memahami secara lebih komprehensif adaptasi neuromuskular jangka panjang pada atlet usia remaja. Ketiga, analisis biomekanika dalam penelitian ini menggunakan metode analisis gerak dua dimensi (2D high-speed video). Meskipun metode ini cukup efektif dalam menganalisis pola gerak dasar, pendekatan ini belum sepenuhnya mampu menggambarkan kompleksitas gerakan tiga dimensi yang terjadi selama pelaksanaan smash bulutangkis. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan sistem analisis gerak tiga dimensi (3D motion capture) untuk memperoleh hasil pengukuran biomekanika yang lebih akurat. Selain itu, penelitian ini lebih berfokus pada aspek kondisi fisik dan biomekanika. Faktor lain yang juga dapat mempengaruhi performa bulutangkis, seperti aspek psikologis, pengambilan keputusan taktis, serta kemampuan perseptual-kognitif, belum dianalisis secara mendalam dalam penelitian ini.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan literatur dalam bidang ilmu kepelatihan olahraga dan sport performance science, khususnya dalam konteks bulutangkis usia muda. Salah satu kontribusi utama penelitian ini adalah pendekatan integratif yang menggabungkan analisis biomekanika dengan latihan kondisi fisik dalam satu kerangka penelitian eksperimental. Sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung mengkaji aspek biomekanika atau kondisi fisik secara terpisah, sedangkan penelitian ini menunjukkan hubungan langsung antara adaptasi kondisi fisik dengan peningkatan efisiensi biomekanika smash. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan power eksplosif, stabilitas inti, dan kelincahan memiliki hubungan yang erat dengan peningkatan parameter biomekanika seperti rotasi trunk, kecepatan sudut bahu, serta racket head velocity. Integrasi antara komponen kondisi fisik dan biomekanika ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme peningkatan performa teknik smash pada atlet bulutangkis. Selain itu, penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian youth badminton performance science, khususnya dalam konteks pembinaan atlet usia remaja di Indonesia. Penelitian mengenai pengembangan performa atlet bulutangkis remaja di lingkungan klub daerah masih relatif terbatas dalam literatur internasional. Oleh karena itu, temuan penelitian ini memperluas perspektif ilmiah mengenai bagaimana pendekatan latihan berbasis bukti (evidence-based training) dapat meningkatkan efisiensi biomekanika dan performa teknik pada atlet usia muda. Secara keseluruhan, penelitian ini memperkuat kerangka konseptual yang menghubungkan adaptasi neuromuskular, efisiensi biomekanika, dan peningkatan performa teknik dalam olahraga raket, serta mendukung penerapan model latihan terintegrasi dalam program pembinaan atlet bulutangkis jangka panjang.

## KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa latihan kondisi fisik terintegrasi selama delapan minggu memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan biomekanika dan efektivitas smash pada atlet bulutangkis remaja di klub Kota Makassar. Kelompok eksperimen (n=30) menunjukkan peningkatan rotasi trunk sebesar 17,7%, kecepatan sudut bahu 17,0%, dan racket head velocity 18,5%, yang secara statistik signifikan ( $p < 0,05$ ) dengan kategori effect size besar. Peningkatan ini berkontribusi langsung terhadap kenaikan kecepatan shuttlecock sebesar 14,4% serta peningkatan akurasi smash sebesar 36,5%. Sebaliknya, kelompok kontrol tidak menunjukkan perubahan bermakna ( $p > 0,05$ ). Secara empiris, peningkatan vertical jump sebesar 16,0% dan core stability sebesar 31,5% berkorelasi kuat dengan peningkatan racket head velocity ( $r = 0,72$ ) dan akurasi smash ( $r = 0,69$ ), menunjukkan bahwa adaptasi neuromuskular berperan penting dalam efisiensi kinetic chain. Secara konseptual, hasil ini menegaskan bahwa performa teknik smash tidak hanya ditentukan oleh repetisi teknik, tetapi oleh integrasi kekuatan eksplosif, stabilitas trunk, dan koordinasi neuromotor. Dengan demikian, model latihan kondisi fisik terintegrasi direkomendasikan sebagai pendekatan berbasis evidence dalam pembinaan atlet bulutangkis remaja untuk meningkatkan performa sekaligus efisiensi biomekanika gerak.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh atlet bulutangkis remaja yang telah berpartisipasi aktif dalam penelitian ini serta menunjukkan komitmen tinggi selama proses intervensi berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para pelatih dan pengelola klub bulutangkis di Kota Makassar yang telah memberikan izin, dukungan fasilitas, serta kontribusi teknis dalam pelaksanaan program latihan kondisi fisik terintegrasi selama delapan minggu. Penelitian ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa dukungan akademik dan masukan konstruktif dari rekan-rekan dosen serta tim laboratorium biomekanika dan pengukuran olahraga yang membantu dalam proses pengambilan dan analisis data menggunakan perangkat high-speed camera, radar gun, dan force platform. Kontribusi mereka memastikan bahwa proses pengumpulan data berlangsung secara objektif, sistematis, dan sesuai standar metodologi penelitian olahraga berbasis bukti ilmiah. Penulis juga mengapresiasi dukungan institusi yang telah memfasilitasi penelitian ini, sehingga kajian mengenai integrasi latihan kondisi fisik dan biomekanika dalam pembinaan atlet remaja dapat dilakukan secara komprehensif. Semoga hasil penelitian ini memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu kepelatihan olahraga serta peningkatan kualitas pembinaan bulutangkis usia muda di Indonesia.

## REFERENSI

- Ahmad, S., Suratmin, & Dharmadi, M. A. (2017). Hubungan Power Lengan Dan Kelincahan Dengan Pukulan Smash Bulutangkis Pada Siswa Peserta Ekstrakurikuler Bulutangkis SMA Negeri 2 Gerokgak Tahun 2017. *Jurnal Pendidikan Keperawatan Olahraga Undiksha*, 8(2). <https://doi.org/10.23887/jjpko.v9i1.12455>
- Aldanyowi, S. N., & AlOraini, L. I. (2024). Personalizing Injury Management and Recovery: A Cross-Sectional Investigation of Musculoskeletal Injuries and Quality of Life in Athletes. *Orthopedic Research and Reviews*, 16, 137–151. <https://doi.org/10.2147/ORR.S460748>
- Almansoof, H. S., Nuhmani, S., & Muaidi, Q. (2023). Role of kinetic chain in sports performance and injury risk: a narrative review. *Journal of Medicine and Life*, 16(11), 1591–1596. <https://doi.org/10.25122/jml-2023-0087>
- Aryapradana, C. A., Cahyono, D., & Buhari, M. R. (2023). Analysis Of Smash Forehand Badminton Strutting At The Age Of 9-14 Years At Gemilang Badminton Club Samarinda. *International Journal Of Humanities Education And Social Sciences (IJHESS)*, 2(4), 1180–1185.
- Azandi, F., Pertiwi, D. N., Syahbana, M. A., Marpaung, M. H., Nst, D. S., & Mendrofa, R. (2025). Pemetaan Bakat dan Potensi Olahraga Siswa Kota Medan Tahun 2025: Upaya Pengembangan Olahraga Berbasis Pendidikan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 3(1), 57–64. <https://doi.org/10.59837/jpmba.v3i1.2148>
- Bishop-Monroe, R., Jordan, M., Ma, Z., & Royalty, K. (2022). Enhancing business professional competencies in a virtual educational environment. *The International Journal of Management Education*, 20(3), 100700. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijme.2022.100700>
- Bishop, J. C., Nichols, C., Kranz, S., Lukacs, J. K., & Block, M. E. (2022). Determinants of physical activity of transitioning adult children with Autism Spectrum Disorder. *Heliyon*, 8(8), e10150.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10150>
- Bompa. (2011). *Theory And Of Training The Key Perpomance*. Hunt Publishing Company.
- Bompa, T. O. (2001). Periodizing Training for Peak Performance. In *High-Performance Sports Conditioning*.
- Bompa, T. O., & Haff, G. G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology of Training*. In Champaign, Ill. : Human Kinetics;
- Cabral, M. D., Patel, D. R., Greydanus, D. E., Deleon, J., Hudson, E., & Darweesh, S. (2022). Medical perspectives on pediatric sports medicine–Selective topics. *Disease-a-Month*, 68(11), 101327. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2022.101327>
- Chen, B., Deng, L., Liu, Y., Deng, X., & Yuan, X. (2025). The Effect of Integrative Neuromuscular Training on Enhancing Athletic Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. In *Life* (Vol. 15, Issue 8, p. 1183). <https://doi.org/10.3390/life15081183>
- Contreras, G., & Guadalupe, G. (2020). *A proposal of practices to reduce agile antipatterns*.
- Dennehy, J., Cameron, M., Phillips, T., & Kolbe-Alexander, T. (2024). Physical activity interventions among youth living in rural and remote areas: A systematic review. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 48(2), 100137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anzjph.2024.100137>
- Edmizal, E., Barlian, E., Donie, Komaini, A., Sin, T. H., Umar, Ahmed, M., Singh, A. P., Haryanto, J., & Hidayat, R. A. (2024). Biomechanical Analysis of Smash Stroke in Badminton: A Comparative Study of Elite and Recreational Players: a systematic review. *Retos*, 57, 809–817. <https://doi.org/10.47197/retos.v57.107662>
- Fennelly, L. J., & Perry, M. A. (2018). *150 Things You Should Know about Security* (L. J. Fennelly & M. A. B. T.-150 T. Y. S. K. A. S. (Second E. Perry (eds.); pp. 1–218). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809485-3.00001-6>
- Firmanda, M. F., & Sugiarto, S. (2023). Hubungan antara koordinasi mata-tangan dan kelenturan otot lengan dengan ketepatan smash forehand tenis meja. *Sriwijaya Journal of Sport*, 2(2), 75–83. <https://doi.org/10.55379/sjs.v2i2.703>
- Foley Davelaar, C. M., Render, A., & Jayanthi, N. (2023). *Chapter 86 - The junior tennis player* (B. J. Krabak & A. B. T.-T. Y. A. Brooks (eds.); pp. 929–942). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99992-2.00026-8>
- Ghorbel, A., Abdelkefi, H., Yaakoubi, M., Trabelsi, O., Masmoudi, L., Weiss, K., Rosemann, T., Knechtle, B., & Gharbi, A. (2026). Blended learning in physical education: Examining the effectiveness of the “did you know?” model in gymnastics. *Acta Psychologica*, 263, 106284. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2026.106284>
- Gorce, P., & Jacquier-Bret, J. (2024). Are there kinematic and kinetic parameters correlated with racket velocity during the tennis serve? A preliminary comparison between a slow and a fast serve for performance improvement. *Frontiers in Sports and Active Living*, Volume 6-2024. <https://www.frontiersin.org/journals/sports-and-active-living/articles/10.3389/fspor.2024.1451174>
- Hao, L., & Kong, Q. (2025). Biomechanics-based analysis of technical characteristics in skeleton start and specific physical training strategies. *Frontiers in Physiology*, 16, 1700394. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1700394>
- Hartoto, S. (2018). Pengaruh Latihan Piramida Descending dengan irama lambat dan cepat terhadap Kekuatan, Kecepatan, Daya ledak dan Hypertropy Otot tungkai. *JOSSAE: Journal of Sport Science and Education*. <https://doi.org/10.26740/jossae.v2n2.p58-60>
- Hassan, S. A., Mohamed Dirie, A., Ahmed, N. R., & Omar, A. I. (2024). Update on antimicrobial resistance in Somalia: Current status, challenges, opportunities, and future perspectives. *Heliyon*, 10(20), e39434. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39434>
- İnce, İ., & Tortu, E. (2025). Association between intra and inter-limb strength asymmetry with sprint kinematics and force-velocity profile in youth team athletes. *The Knee*, 52, 99–107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.knee.2024.10.020>
- Irmawati, D. A., Kresnapati, P., & Isna, M. (2020). Analisis Biomekanika Keterampilan Gerak Topspin Tenis Meja pada Klub Alaska Kota Pekalongan. *Journal of Sport Coaching and Physical Education*, 5(2), 103–108. <https://doi.org/10.15294/jspe.v5i2.37070>
- Juntara, P. E. (2019). LATIHAN KEKUATAN DENGAN BEBAN BEBAS METODE CIRCUIT TRAINING DAN PLYOMETRIC. *Altius: Jurnal Ilmu Olahraga Dan Kesehatan*. <https://doi.org/10.36706/altius.v8i2.8705>

- Kraemer, W. J., Fragala, M. S., & Ratamess, N. A. (2025). Evolution of resistance training in women: History and mechanisms for health and performance. *Sports Medicine and Health Science*, 7(5), 351–365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smhs.2025.01.005>
- Larsen, B., & Luna, B. (2018). Adolescence as a neurobiological critical period for the development of higher-order cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 94, 179–195. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.09.005>
- Li, F., Li, S., Zhang, X., & Shan, G. (2023). Biomechanical Insights for Developing Evidence-Based Training Programs: Unveiling the Kinematic Secrets of the Overhead Forehand Smash in Badminton through Novice-Skilled Player Comparison. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/app132212488>
- Li, Q., Ahmed, I., Minh Ngoc, P., Phuong Hoa, T., Vinh Dieu, T., Irshad, M. S., Xuan Nang, H., & Dao, V.-D. (2024). Contemporary advances in polymer applications for sporting goods: fundamentals, properties, and applications. *RSC Advances*, 14(50), 37445–37469. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/d4ra06544a>
- Li, S.-Y., & Zhong, J. (2025). Institutionalising Chinese language teaching in African schools: The case of Uganda. *International Journal of Educational Development*, 118, 103394. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2025.103394>
- Limbong, D. M. (2021). Pengaruh Latihan dengan Lampu Reaksi dan Shuttlerun Terhadap Kelincahan Gerak Kaki (Footwork) Atlet Bulutangkis PB. Tj Prestasi Tebo. *Indonesian Journal of Sport Science and Coaching*, 03(02), 68–74. <https://online-journal.unja.ac.id/IJSSC/index>
- Majewska, J., Kołodziej-Lackorzynska, G., Cyran-Grzebyk, B., Szymczyk, D., Kołodziej, K., & Wądołkowski, P. (2022). Effects of Core Stability Training on Functional Movement Patterns in Tennis Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23). <https://doi.org/10.3390/ijerph192316033>
- Majstorović, N., Dopsaj, M., Grbić, V., Savić, Z., Vićentijević, A., Aničić, Z., Zadražnik, M., Toskić, L., & Nešić, G. (2020). Isometric strength in volleyball players of different age: A multidimensional model. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(12), 1–12. <https://doi.org/10.3390/APP10124107>
- Mata, K., Atlet, T., Tangkis, B., & Roda, K. (2024). *Pengembangan Model Latihan Wheel Chair Movement untuk Meningkatkan Kelincahan, Kecepatan, dan Koordinasi mata Tangan Atlet Bulu Tangkis Kursi Roda* [Universitas Negeri Yogyakarta]. [https://eprints.uny.ac.id/80814/1/fulltext\\_rezha\\_arzhan\\_hidayat\\_21608261037.pdf](https://eprints.uny.ac.id/80814/1/fulltext_rezha_arzhan_hidayat_21608261037.pdf)
- Mo, Y., Gao, Y., Huang, R., Yang, K., Lu, Y., & Gao, Z. (2026). Long-Term Effects of NASM-OPT Periodized Training on Lower-Limb Strength, Explosive Power, and Stretch-Shortening Cycle Function in Adolescent Athletes. *February*, 339–349.
- Neeld, K. (2018). Preparing for the Demands of Professional Hockey. *Strength & Conditioning Journal*, 40(2). [https://journals.lww.com/nsca-scj/fulltext/2018/04000/preparing\\_for\\_the\\_demands\\_of\\_professional\\_hockey.1.aspx](https://journals.lww.com/nsca-scj/fulltext/2018/04000/preparing_for_the_demands_of_professional_hockey.1.aspx)
- Pan, K. M., Kao, F., & Tsai, C. L. (2024). Grip force and pressure distribution analysis of three badminton forehand overhead strokes of male and female players: A case study. *Journal of Physical Education and Sport*, 24(9), 1231–1244. <https://doi.org/10.7752/jpes.2024.09247>
- Pasaribu, A. M. N., & Yudhaprawira, A. (2020). Pelatihan Strength And Conditioning Atlet Bulu Tangkis Di Metland Jakarta Timur. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat UBJ*, 3(2), 163–170. <https://doi.org/10.31599/jabdimas.v3i2.204>
- Pedro, B., João, F., Lara, J. P. R., Cabral, S., Carvalho, J., & Veloso, A. P. (2022). Evaluation of Upper Limb Joint Contribution to Racket Head Speed in Elite Tennis Players Using IMU Sensors: Comparison between the Cross-Court and Inside-Out Attacking Forehand Drive. In *Sensors* (Vol. 22, Issue 3, p. 1283). <https://doi.org/10.3390/s22031283>
- Petre, I. M., Boşcoianu, M., & Mocanu, P. (2025). Unilateral Resistance Training Strategies for Boosting Rehabilitation: An Expert Survey. In *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* (Vol. 10, Issue 4, p. 425). <https://doi.org/10.3390/jfmk10040425>
- Rachmi Marsheilla Aguss, Eko Bagus Fahrizqi, P. A. W. (2021). Efektivitas vertical jump terhadap kemampuan smash bola voli putri. *Jurnal Pendidikan Jasmani Indonesia*, 17(1), 1–9.
- Ramadhani, N., & Riyanto, A. (2018). *Pengaruh Penambahan Core Stability Pada Latihan Zig-Zag Run Terhadap Kelincahan Pemain Bola Basket Putra*.
- Ramirez-Campillo, R., Andrade, D. C., Nikolaidis, P. T., Moran, J., Clemente, F. M., Chaabene, H., & Comfort, P. (2020). Effects of plyometric jump training on vertical jump height of volleyball players: A systematic review with meta-analysis of randomized-controlled trial. *Journal of*

- Sports Science and Medicine*, 19(3), 489–499.
- Ren, Y., Luo, B., & Chu, J. (2022). Biomechanical Research on Special Ability of Long Jump Take-Off Muscle Based on Multisource Information Fusion. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2022, 2556087. <https://doi.org/10.1155/2022/2556087>
- Ricardo, R. (2023). The Effect of Physical Training and Shuttlecock Shot Practice on Smash Power in Badminton. *Siber International Journal of Sport Education (SIJSE)*, 1(1), 18–25. <https://doi.org/10.38035/sijse.v1i1.19>
- Rochman, R. S. (2016). Pengaruh Latihan Ball Feeling Terhadap Keterampilan Dribbling Pada Peserta Ekstrakurikuler Futsal Di SMA Negeri 5 Kota Sukabumi. In *Universitas Negeri Yogyakarta*. [https://eprints.uny.ac.id/41301/1/skripsi\\_rudy\\_saeful\\_rochman\\_11601244168.pdf](https://eprints.uny.ac.id/41301/1/skripsi_rudy_saeful_rochman_11601244168.pdf)
- Sánchez Pastor, A., García-Sánchez, C., Marquina Nieto, M., & de la Rubia, A. (2023). Influence of Strength Training Variables on Neuromuscular and Morphological Adaptations in Prepubertal Children: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph20064833>
- Sedaghati, P., Baharmast Hossein Abadi, A., & Zolghadr, H. (2023). Effect of Core Stability Exercises on Volleyball Players: A Systematic Review. *Physical Treatments*, 13(3), 147–158. <https://doi.org/10.32598/ptj.13.3.405.3>
- Sinulingga, A., Pasaribu, A. M. N., Bangun, S. Y., Ningrum, D. T. M., & Mahyudi, Y. V. (2023). Plyometric Exercise and Speed on the Power of Sabit Kick in Pencak Silat. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 11(3), 591–597. <https://doi.org/10.13189/saj.2023.110311>
- Sortwell, A., Ramirez-Campillo, R., Granacher, U., Joyce, C., Forte, P., Marinho, D. A., Ferraz, R., & Trimble, K. (2026). The Health and Physical Education Curriculum: Does It Address Muscular Fitness? In *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* (Vol. 11, Issue 1, p. 40). <https://doi.org/10.3390/jfmk11010040>
- Suchomel, T. J., Lamont, H. S., & Moir, G. L. (2016). Understanding Vertical Jump Potentiation: A Deterministic Model. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(6), 809–828. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0466-9>
- Syamsudin, A. A., Amiq, F., & ... (2020). Pengaruh Latihan Kekuatan Otot Tungkai terhadap Pukulan Jumping Smash pada Peserta Ekstrakurikuler Bulutangkis Madrasah Tsanawiyah (MTsN) 1 Malang. *Sport Health Seminar With Real Action (STARWARS)*, 2, 33–43.
- Tabatabaei, S. M., Daneshmandi, H., Norasteh, A. A., & Sharif Nia, H. (2017). Development of Screening Test Battery for Volleyball Players: A Mixed Method Study. *Physical Treatments: Specific Physical Therapy Journal*, October, 163–174. <https://doi.org/10.32598/ptj.7.3.163>
- Temm, D. A., Standing, R. J., & Best, R. (2022). Training, Wellbeing and Recovery Load Monitoring in Female Youth Athletes. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Issue 18, p. 11463). <https://doi.org/10.3390/ijerph191811463>
- Tsartsapakis, I., Zafeiroudi, A., Trigonis, I., Lyrtzis, C., & Astrapellos, K. (2025). Development and Implementation of a Core Training Protocol: Effects on Muscle Activation, Hypertrophy, Balance, and Quality of Life in Recreationally Active Adults. In *Methods and Protocols* (Vol. 8, Issue 4, p. 77). <https://doi.org/10.3390/mps8040077>
- Van Roie, E., van Uffelen, J., Seghers, J., Myers, L., Vergeer, I., Biddle, S. J. H., & De Cocker, K. (2025). Promotion of muscle-strengthening exercise for public health: a systematic review of real-life interventions in healthy adults. *Journal of Science and Medicine in Sport*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsams.2025.09.005>
- Warneke, K., Thomas, E., Blazevich, A. J., Afonso, J., Behm, D. G., Marchetti, P. H., Trajano, G. S., Nakamura, M., Ayala, F., Longo, S., Babault, N., Freitas, S. R., Costa, P. B., Konrad, A., Nordez, A., Nelson, A., Zech, A., Kay, A. D., Donti, O., & Wilke, J. (2025). Practical recommendations on stretching exercise: A Delphi consensus statement of international research experts. *Journal of Sport and Health Science*, 14, 101067. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jshs.2025.101067>
- Watanabe, K., Nunome, H., Inoue, K., Iga, T., & Akima, H. (2020). Electromyographic analysis of hip adductor muscles in soccer instep and side-foot kicking. *Sports Biomechanics*, 19(3), 295–306. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1499800>
- Wirnitzer, K. C., Tanous, D. R., Drenowatz, C., Wirnitzer, G., Schätzer, M., Ruedl, G., & Kirschner, W. (2025). Difference in Motives and Basic Health Behavior of 8799 Children and Adolescents

- Aged 10–19 Years Following a Vegan, Vegetarian, or Omnivorous Diet. *Current Developments in Nutrition*, 9(7), 107498. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2025.107498>
- Xu, Z., Sun, J., Gu, J., & Yu, L. (2025). Effects of 8 weeks of combined strength and plyometric training on lower limb vertical stiffness and jump performance in elite long jump athletes. *Frontiers in Physiology*, Volume 16. <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2025.1692254>
- Yusuf, M. A. (2015). Kontribusi Kekuatan Otot Lengan dan Koordinasi Mata - Tangan Terhadap Pukulan Smash pada Bulutangkis Kategori Remaja Putra. *Jurnal Kesehatan Olahraga*, 3(1), 22–30. <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/jurnal-kesehatan-olahraga/article/view/11161/10659>
- Zhu, Z., Yang, Y., Kong, Z., Zhang, Y., & Zhuang, J. (2017). Prevalence of physical fitness in Chinese school-aged children: Findings from the 2016 Physical Activity and Fitness in China—The Youth Study. *Journal of Sport and Health Science*, 6(4), 395–403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.09.003>