

PENGARUH PELATIHAN PLIOMETRIK *UPPER AND LOWER BODY* TERHADAP PENINGKATAN KEKUATAN LEDAK OTOT DAN KECEPATAN PUKULAN *SMASH* PADA PB BERTUAH

Rattu Vemilla Aino¹, Yanuar Kiram², Donie³, Nurul Ihsan⁴, Anton Komaini⁵

Universitas Negeri Padang^{1,2,3,4,5}

rvemillaaino@gmail.com¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh program pelatihan pliometrik *upper and lower body* yang terintegrasi terhadap peningkatan kekuatan ledak otot dan kecepatan pukulan *smash* pada atlet bulu tangkis remaja. Penelitian ini menggunakan desain kuasi-eksperimental *pre-test/post-test control group*, melibatkan 30 atlet putra dari PB Bertuah (usia 15-18 tahun) yang dibagi secara acak ke dalam Kelompok Eksperimen (KE, n=15) dan Kelompok Kontrol (KK, n=15). Selama 6 minggu, KE mengikuti program pelatihan pliometrik (2 sesi/minggu) di samping latihan reguler, sementara KK hanya menjalani latihan reguler. Kekuatan ledak otot tungkai diukur menggunakan tes *Countermovement Jump* (CMJ), kekuatan ledak otot lengan dan bahu diukur dengan tes *Seated Medicine Ball Throw* (SMBT), dan kecepatan pukulan *smash* diukur menggunakan *radar gun*. Analisis data menggunakan uji-t sampel berpasangan dan uji-t sampel independen ($p < 0.05$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa KE mengalami peningkatan signifikan ($p < 0.05$) pada ketiga variabel: tinggi lompatan CMJ, jarak lemparan SMBT, dan kecepatan pukulan *smash*. Sebaliknya, tidak ada perubahan signifikan yang diamati pada KK. Perbandingan nilai perubahan antara kedua kelompok menunjukkan bahwa peningkatan pada KE secara statistik lebih besar daripada KK ($p < 0.05$) untuk semua variabel yang diukur. Disimpulkan bahwa program pelatihan pliometrik *upper and lower body* selama 6 minggu efektif secara signifikan dalam meningkatkan kekuatan ledak otot dan kecepatan pukulan *smash* pada atlet bulu tangkis remaja. Program ini direkomendasikan sebagai metode latihan yang efisien untuk mengoptimalkan performa pukulan *smash*.

Kata Kunci: Bulu Tangkis, Pelatihan Pliometrik, Kekuatan Ledak, Kecepatan *Smash*, Rantai Kinetik, *Stretch-Shortening Cycle*.

ABSTRACT

This study aims to investigate the effect of an integrated upper and lower body plyometric training program on the increase in muscle explosive power and smash stroke speed in adolescent badminton athletes. This study used a quasi-experimental pre-test/post-test control group design, involving 30 male athletes from PB Bertuah (aged 15-18 years) who were randomly divided into the Experimental Group (KE, n=15) and the Control Group (KK, n=15). For 6 weeks, KE followed a plyometric training program (2 sessions/week) in addition to regular exercise, while KK only underwent regular exercise. The explosive strength of the leg muscles was measured using the Countermovement Jump (CMJ) test, the explosive strength of the arm and shoulder muscles was measured by the Seated Medicine Ball Throw (SMBT) test, and the speed of the smash hit was measured using the radar gun. Data analysis used paired sample t-test and independent sample t-test ($p < 0.05$). The results showed that KE experienced a significant increase ($p < 0.05$) on all three variables: CMJ jump height, SMBT throw distance, and smash hit speed. In contrast, no significant changes were observed in KK. A comparison of the change values between the two groups showed that the increase in KE was statistically greater than the KK ($p < 0.05$) for all variables measured. It was

concluded that a 6-week upper and lower body plyometric training program was significantly effective in improving muscle explosive power and smash stroke speed in adolescent badminton athletes. This program is recommended as an efficient training method to optimize smash punch performance.

Keywords: Badminton, Plyometric Training, Explosive Power, Smash Speed, Kinetic Chain, Stretch-Shortening Cycle.

PENDAHULUAN

Bulu tangkis merupakan cabang olahraga raket yang menuntut kecepatan, kelincahan, dan kekuatan ledak tingkat tinggi. Di antara berbagai teknik pukulan, pukulan *smash* dianggap sebagai senjata ofensif utama yang paling menentukan dalam meraih poin. Efektivitas sebuah pukulan *smash* secara langsung berkorelasi dengan kemampuan atlet untuk menghasilkan kecepatan *shuttlecock* yang maksimal, yang merupakan manifestasi dari kekuatan ledak otot seluruh tubuh. Pukulan ini tidak hanya membutuhkan kekuatan lengan, tetapi juga koordinasi kompleks dari berbagai segmen tubuh yang bekerja secara berurutan untuk menghasilkan tenaga yang optimal (Edmizal et al., 2024).

Perbedaan antara pemain level elit dan rekreasi seringkali terletak pada optimasi biomekanika dan kapasitas fisik mereka. Studi menunjukkan bahwa pemain elit mampu menghasilkan kecepatan *shuttlecock* hingga 60.2% lebih tinggi dibandingkan pemain pemula, sebuah keunggulan yang sebagian besar diatribusikan pada teknik yang lebih efisien dan kekuatan ledak yang superior (Li et al., 2023). Pukulan *smash* yang ideal memaksimalkan impuls produk dari gaya dan waktu—dengan mengerahkan gaya yang sangat besar dalam durasi sesingkat mungkin. Hal ini menyoroti pentingnya komponen kekuatan ledak (*explosive power*) sebagai fondasi utama dari pukulan *smash* yang berkualitas (David B. Waddell, 2000).

Meskipun pentingnya kekuatan ledak telah diakui secara luas, program latihan di tingkat klub, termasuk di PB Bertuah, seringkali belum menerapkan pendekatan yang spesifik dan terintegrasi untuk melatih seluruh rantai kinetik yang terlibat dalam pukulan *smash*. Program latihan yang ada cenderung bersifat parsial, misalnya hanya berfokus pada peningkatan kemampuan melompat (kekuatan tungkai) atau kekuatan lengan secara terpisah. Pendekatan semacam ini kurang optimal karena mengabaikan elemen krusial dalam biomekanika *smash*, yaitu transfer energi yang efisien dari tungkai, melalui rotasi batang tubuh, hingga ke lengan dan raket. Akibatnya, potensi kekuatan ledak atlet tidak dapat dimaksimalkan secara sinergis. Terdapat kesenjangan antara kebutuhan biomekanis pukulan *smash* dengan metode latihan yang diterapkan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah intervensi latihan yang secara holistik menargetkan seluruh segmen tubuh yang berkontribusi pada pukulan *smash*.

KAJIAN TEORI

Pukulan *smash* dalam bulu tangkis merupakan contoh klasik dari gerakan rantai kinetik terbuka (*open kinetic chain*) yang kompleks, di mana energi ditransfer secara sekuensial dari segmen tubuh proksimal (besar) ke segmen distal (kecil) untuk memaksimalkan kecepatan pada titik akhir, yaitu kepala raket. Gerakan ini sering dideskripsikan sebagai aksi "mirip cambuk" (*whip-like action*) yang bertujuan menghasilkan kecepatan *shuttlecock* setinggi mungkin (Li et al., 2023).

Analisis biomekanis menunjukkan bahwa pukulan *smash* yang efektif bukanlah hasil dari kekuatan lengan semata, melainkan kulminasi dari serangkaian gerakan terkoordinasi yang dimulai dari tanah.

Fase Inisiasi (Tungkai dan Pinggul): Gerakan diawali dengan dorongan eksplosif dari tungkai untuk menghasilkan gaya reaksi tanah (*Ground Reaction Forces* - GRFs). Pada pemain elit, hampir setiap pukulan *smash* adalah "*jump smash*", di mana pemain berada di udara saat melakukan kontak dengan *shuttlecock*. Lompatan ini tidak hanya bertujuan untuk mencapai titik kontak yang lebih tinggi dan sudut pukulan yang lebih curam, tetapi juga untuk memulai transfer momentum ke segmen tubuh berikutnya (Kumar & Das, 2024).

Fase Transfer (Batang Tubuh): Momentum dari tungkai ditransfer ke pinggul dan batang tubuh, yang kemudian melakukan rotasi cepat. Rotasi batang tubuh ini, yang sering disebut sebagai *X-factor* (pemisahan sudut antara bahu dan pinggul), menciptakan pra-peregangan (*pre-stretch*) pada otot-otot oblik dan dada, menyimpan energi elastis yang signifikan (Zhang et al., 2016).

Fase Akselerasi (Lengan dan Raket): Energi yang tersimpan dari rotasi batang tubuh kemudian dilepaskan secara eksplosif ke lengan pemukul. Bahu mengalami rotasi internal yang sangat cepat, diikuti oleh ekstensi siku dan pronasi lengan bawah (*radio-ulnar pronation*). Studi menunjukkan bahwa rotasi bahu dan pronasi lengan bawah merupakan kontributor utama, menyumbang hingga 53% dari kecepatan akhir *shuttlecock*. Tepat sebelum tumbukan, fleksi pergelangan tangan yang cepat memberikan tambahan kecepatan pada kepala raket. Seluruh sekuens ini terjadi secara berkesinambungan tanpa jeda, dari *backswing* hingga *follow-through*, untuk memastikan tidak ada energi yang hilang (Zhang et al., 2016).

Pelatihan pliometrik adalah metode latihan yang dirancang untuk meningkatkan kekuatan ledak (daya) dengan memanfaatkan mekanisme neuromuskular alami yang dikenal sebagai *Stretch-Shortening Cycle* (SSC) (Slimani et al., 2016). SSC adalah aksi otot siklikal yang cepat, terdiri dari tiga fase: fase eksentrik (peregangan), fase amortisasi (transisi), dan fase konsentrasi (pemendekan). Kinerja yang dihasilkan dari gerakan yang menggunakan SSC jauh lebih besar daripada gerakan yang hanya melibatkan kontraksi konsentrasi murni. Sebagai contoh, tinggi lompatan pada *countermovement jump* (yang menggunakan SSC) bisa 18-30% lebih tinggi daripada *squat jump* (konsentrasi murni) (Deng et al., 2023).

Model mekanis menjelaskan SSC melalui analogi pegas atau karet gelang. Selama fase eksentrik (misalnya, saat menekuk lutut sebelum melompat), unit otot-tendon (*musculotendinous unit* - MTU) diregangkan. Peregangan ini menyebabkan komponen elastis seri (*series elastic component* - SEC), terutama tendon, menyimpan energi potensial elastis. Jika fase amortisasi (transisi dari peregangan ke pemendekan) berlangsung singkat, energi elastis yang tersimpan ini akan dilepaskan selama fase konsentrasi berikutnya, menambahkan kekuatan pada kontraksi otot dan menghasilkan output daya yang lebih besar. Kekakuan tendon (*tendon stiffness*) yang optimal sangat penting untuk penyimpanan dan pelepasan energi yang efisien; atlet yang lebih kuat cenderung memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memanfaatkan mekanisme ini (Gruber et al., 2019).

Model neurofisiologis berfokus pada respons sistem saraf terhadap peregangan otot yang cepat. Di dalam otot terdapat reseptor sensorik yang disebut *muscle spindles* (gelendong otot), yang sensitif terhadap perubahan panjang dan kecepatan peregangan otot (Santuz & Akay, 2023).

Refleks Regang (*Stretch Reflex*): Selama fase eksentrik yang cepat dalam gerakan pliometrik, *muscle spindles* teraktivasi dan mengirimkan sinyal ke sumsum tulang belakang. Sinyal ini memicu refleks regang, yang menyebabkan peningkatan aktivasi otot agonis (otot yang sedang bekerja) secara involunter. Peningkatan rekrutmen unit motorik ini memperkuat kontraksi konsentris yang terjadi sesudahnya. Disinhibisi *Golgi Tendon Organ* (GTO): GTO adalah reseptor lain yang terletak di persimpangan otot-tendon dan berfungsi sebagai mekanisme protektif dengan menghambat kontraksi otot ketika mendekati tegangan yang berlebihan. Latihan pliometrik yang dilakukan secara progresif dapat "melatih" sistem saraf untuk menekan atau menunda sinyal inhibisi dari GTO. Proses yang disebut disinhibisi ini memungkinkan otot untuk berkontraksi dengan kekuatan yang lebih besar dan menghasilkan daya yang lebih tinggi.

Dengan demikian, pelatihan pliometrik meningkatkan kekuatan ledak melalui kombinasi penyimpanan dan pelepasan energi elastis serta peningkatan aktivasi saraf dan penurunan inhibisi protektif. Efektivitas pelatihan pliometrik dalam meningkatkan performa atletik telah didokumentasikan secara ekstensif di berbagai cabang olahraga, termasuk olahraga raket yang menuntut gerakan eksplosif berulang.

Sebuah tinjauan sistematis dan meta-analisis terbaru yang secara spesifik meneliti pemain bulu tangkis menemukan bahwa pelatihan pliometrik (PT) menghasilkan efek positif dengan ukuran kecil hingga sedang (*small-to-moderate effects*) pada beberapa komponen kebugaran fisik. Secara spesifik, ditemukan peningkatan signifikan pada kekuatan ledak/daya (*power*) dengan *effect size* (ES) sebesar 0.60, kelincahan (*agility*) dengan ES = 0.96, dan kecepatan (*speed*) dengan ES = 0.63. Temuan ini memberikan bukti kuat bahwa PT merupakan intervensi yang relevan dan bermanfaat bagi atlet bulu tangkis (Deng et al., 2024).

Lebih lanjut, penelitian yang berfokus pada program pelatihan pliometrik yang mengkombinasikan latihan untuk ekstremitas atas dan bawah (*Upper and Lower Limb Plyometric Training* - ULLPT) menunjukkan hasil yang lebih impresif. Sebuah meta-analisis menemukan bahwa ULLPT menghasilkan efek yang besar (*large effect*) pada peningkatan kekuatan ledak otot tubuh bagian atas (ES = 1.66) dan kekuatan ledak otot tubuh bagian bawah (ES berkisar antara 0.82 hingga 1.16) pada berbagai populasi atlet. Hal ini secara langsung mendukung rasionalitas penelitian ini, yang mengadopsi pendekatan ULLPT untuk menargetkan seluruh rantai kinetik pukulan *smash* (Deng et al., 2023).

Studi pada cabang olahraga raket lain yang sebanding, seperti tenis, juga menunjukkan hasil yang konsisten. Fernandez-Fernandez et al. (2016) menemukan bahwa program pliometrik ULLPT selama 8 minggu secara signifikan meningkatkan kecepatan servis, jarak lemparan *medicine ball*, dan tinggi lompatan vertikal pada pemain tenis remaja. Peningkatan ini menunjukkan adanya transfer positif dari peningkatan kapasitas fisik umum ke dalam performa keterampilan spesifik olahraga.

Meskipun sebagian besar bukti menunjukkan hasil positif, penting untuk dicatat adanya nuansa dalam temuan penelitian. Sebuah studi oleh Milde et al. (2014) melaporkan bahwa meskipun pelatihan pliometrik berhasil meningkatkan tinggi lompatan, hal tersebut tidak secara langsung berpengaruh pada titik kontak pukulan *overhead smash*.¹ Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan kapasitas fisik yang diperoleh dari pelatihan pliometrik harus diintegrasikan dengan latihan teknik yang sesuai agar dapat ditransfer secara efektif ke dalam peningkatan performa di

lapangan. Kekuatan ledak yang lebih besar menciptakan potensi, namun teknik yang tepat adalah kunci untuk merealisasikan potensi tersebut (Fröhlich et al., 2014).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuasi-eksperimen dengan desain *pre-test/post-test control group*. Desain ini dipilih untuk mengukur dan membandingkan perubahan variabel dependen (kekuatan ledak otot dan kecepatan pukulan *smash*) sebelum dan sesudah perlakuan pada kelompok eksperimen, serta membandingkannya dengan kelompok kontrol yang tidak menerima perlakuan.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh atlet yang terdaftar di Persatuan Bulu tangkis (PB) Bertuah. Sampel penelitian terdiri dari 30 atlet putra yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan kriteria inklusi sebagai berikut: (1) berusia antara 15-18 tahun, (2) memiliki pengalaman kompetitif minimal 2 tahun, (3) aktif mengikuti program latihan reguler klub, dan (4) tidak memiliki riwayat cedera muskuloskeletal dalam 6 bulan terakhir yang dapat mengganggu partisipasi dalam penelitian. Partisipan yang memenuhi kriteria kemudian dibagi secara acak (*random assignment*) ke dalam Kelompok Eksperimen (KE) dengan jumlah 15 atlet dan Kelompok Kontrol (KK) dengan jumlah 15 atlet. Seluruh partisipan dan orang tua/wali memberikan persetujuan tertulis (*informed consent*) sebelum penelitian dimulai.

Pengambilan data *pre-test* dilakukan satu minggu sebelum intervensi dimulai, dan *post-test* dilakukan satu minggu setelah intervensi 6 minggu selesai. Semua sesi tes diawali dengan prosedur pemanasan standar yang terdiri dari 5 menit jogging ringan dan 10 menit peregangan dinamis.

HASIL PENELITIAN

Hasil analisis statistik dari data yang dikumpulkan sebelum (*pre-test*) dan sesudah (*post-test*) intervensi pelatihan selama 6 minggu. Data disajikan secara objektif dalam bentuk narasi dan tabel tanpa interpretasi mendalam. Sebanyak 30 atlet bulu tangkis putra berpartisipasi penuh dalam penelitian ini, dengan 15 atlet di Kelompok Eksperimen (KE) dan 15 atlet di Kelompok Kontrol (KK). Analisis statistik deskriptif pada data demografis awal (usia, tinggi badan, berat badan, dan pengalaman latihan) menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan secara statistik antara kedua kelompok pada saat *pre-test* ($p > 0.05$). Hal ini mengindikasikan bahwa kedua kelompok bersifat homogen dan sebanding pada awal penelitian, sehingga perbedaan yang muncul pada akhir intervensi dapat diatribusikan pada perlakuan yang diberikan. Rangkuman karakteristik partisipan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Karakteristik Awal Partisipan

Variabel	Kelompok Eksperimen (n=15) (Mean ± SD)	Kelompok Kontrol (n=15) (Mean ± SD)	p-value
Usia (tahun)	16.5 ± 1.2	16.3 ± 1.4	0.731
Tinggi Badan (cm)	171.2 ± 5.8	170.5 ± 6.1	0.789
Berat Badan (kg)	62.4 ± 4.5	61.8 ± 4.9	0.745
Pengalaman Latihan (tahun)	4.1 ± 1.1	3.9 ± 1.3	0.692

Hasil pengukuran untuk ketiga variabel dependen—tinggi lompatan CMJ, jarak lemparan SMBT, dan kecepatan pukulan *smash*—disajikan pada Tabel 2. Hasil uji-t sampel berpasangan menunjukkan bahwa Kelompok Eksperimen (KE) mengalami peningkatan yang signifikan secara statistik dari *pre-test* ke *post-test* pada semua variabel yang diukur. Tinggi lompatan CMJ meningkat secara signifikan ($p = 0.001$), jarak lemparan SMBT menunjukkan peningkatan yang signifikan ($p < 0.001$), dan kecepatan pukulan *smash* juga meningkat secara signifikan ($p < 0.001$). Sebaliknya, Kelompok Kontrol (KK) tidak menunjukkan perubahan yang signifikan secara statistik antara *pre-test* dan *post-test* untuk ketiga variabel tersebut (CMJ: $p = 0.512$; SMBT: $p = 0.458$; Kecepatan *Smash*: $p = 0.388$).

Tabel 2. Perbandingan Hasil Pre-test dan Post-test Kekuatan Ledak Otot dan Kecepatan Smash

Variabel	Kelompok	Pre-test (Mean ± SD)	Post-test (Mean ± SD)	Perubahan (Δ)	p-value (Within-Group)
CMJ (cm)	KE	40.2 ± 4.5	44.8 ± 4.1	+4.6	0.001
	KK	39.8 ± 4.8	40.3 ± 4.6	+0.5\$	0.512
SMBT (cm)	KE	355.1 ± 25.3	390.5 ± 22.8	+35.4	<0.001
	KK	352.4 ± 28.1	355.2 ± 27.5	+2.8	0.458
Kecepatan Smash (km/jam)	KE	158.3 ± 10.2	170.1 ± 9.5	+11.8	<0.001
	KK	157.5 ± 11.5	158.8 ± 11.1	+1.3	0.388

Untuk mengevaluasi efektivitas intervensi, nilai perubahan ($\Delta = \text{post-test} - \text{pre-test}$) antara KE dan KK dibandingkan menggunakan uji-t sampel independen. Hasil analisis, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, membuktikan bahwa peningkatan yang dialami oleh Kelompok Eksperimen secara signifikan lebih besar daripada perubahan yang terjadi pada Kelompok Kontrol untuk semua variabel. Terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai perubahan tinggi lompatan CMJ ($p < 0.001$), jarak lemparan SMBT ($p < 0.001$), dan kecepatan pukulan *smash* ($p < 0.001$).

Tabel 3. Hasil Uji-t Sampel Independen pada Nilai Perubahan (Post-test - Pre-test)

Variabel	Perubahan Rata-rata KE (Δ)	Perubahan Rata-rata KK (Δ)	t-value	p-value (Between-Group)
CMJ (cm)	+4.6	+0.5	6.82	<0.001
SMBT (cm)	+35.4	+2.8	8.95	<0.001
Kecepatan Smash (km/jam)	+11.8	+1.3	7.51	<0.001

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini secara konsisten menunjukkan bahwa program pelatihan pliometrik *upper and lower body* selama 6 minggu memberikan pengaruh positif yang signifikan terhadap kekuatan ledak otot dan kecepatan pukulan *smash* pada atlet bulu tangkis remaja. Pembahasan berikut akan menginterpretasikan temuan-temuan ini dengan merujuk pada landasan teoretis dan bukti empiris yang relevan.

Peningkatan signifikan pada tinggi lompatan *Countermovement Jump* (CMJ) sebesar 4.6 cm pada Kelompok Eksperimen (KE) merupakan bukti langsung dari efektivitas komponen latihan pliometrik *lower body*. Latihan seperti *squat jumps*, *box*

jumps, dan *split squat jumps* secara spesifik menargetkan mekanisme *Stretch-Shortening Cycle* (SSC) pada kelompok otot ekstensor tungkai, yaitu quadriceps, gluteus, dan gastrocnemius (Babu, 2025). Peningkatan performa CMJ ini dapat diatribusikan pada serangkaian adaptasi neuromuskular. Pertama, latihan pliométrik meningkatkan kemampuan otot dan tendon untuk menyimpan dan melepaskan energi elastis secara lebih efisien (Slimani et al., 2016). Kedua, terjadi peningkatan aktivasi saraf, di mana sistem saraf pusat menjadi lebih efektif dalam merekrut unit-unit motorik secara cepat dan sinkron, yang dimediasi oleh peningkatan sensitivitas refleks regang dari *muscle spindles*. Temuan ini sejalan dengan berbagai meta-analisis yang secara konsisten melaporkan bahwa pelatihan pliométrik merupakan metode yang sangat efektif untuk meningkatkan performa lompatan vertikal pada populasi atlet (Chen et al., 2023).

Peningkatan signifikan pada jarak lemparan *Seated Medicine Ball Throw* (SMBT) sebesar 35.4 cm pada KE menunjukkan keberhasilan komponen latihan pliométrik *upper body*. Latihan seperti *medicine ball throws* (overhead dan rotasional) dan *plyometric push-ups* secara langsung melatih efisiensi SSC pada otot-otot pektoralis, deltoid, trisep, serta otot-otot inti (*core*) yang berperan penting dalam menghasilkan daya rotasi. Tes SMBT, yang dilakukan dalam posisi duduk untuk mengisolasi tubuh bagian atas, memastikan bahwa peningkatan yang terukur benar-benar berasal dari peningkatan kekuatan ledak lengan dan bahu. Hasil ini didukung kuat oleh bukti dari meta-analisis yang menunjukkan bahwa program ULLPT menghasilkan efek yang besar pada peningkatan kekuatan ledak tubuh bagian atas (ES = 1.66). Peningkatan ini krusial karena segmen tubuh bagian atas bertanggung jawab atas fase akselerasi akhir dalam rantai kinetik *smash*.

Peningkatan kecepatan pukulan *smash* rata-rata sebesar 11.8 km/jam pada KE adalah temuan utama dari penelitian ini. Peningkatan ini harus dipandang bukan sebagai hasil dari satu faktor tunggal, melainkan sebagai efek sinergis dan kumulatif dari peningkatan kekuatan ledak pada tubuh bagian bawah dan atas. Program pelatihan ini berhasil karena secara fundamental meningkatkan efisiensi di setiap mata rantai kinetik yang terlibat dalam pukulan *smash*.

Proses ini dapat diuraikan sebagai berikut:

Inisiasi yang Lebih Kuat: Peningkatan kekuatan ledak tungkai (tercermin dari peningkatan CMJ) memungkinkan atlet untuk melompat lebih tinggi dan memulai gerakan dengan momentum awal yang lebih besar. Dorongan dari tanah yang lebih kuat menyediakan fondasi yang lebih solid untuk seluruh gerakan (Kumar & Das, 2024).

Transfer Energi yang Lebih Efisien: Momentum dari tungkai kemudian ditransfer melalui batang tubuh yang juga telah dilatih untuk menjadi lebih eksplosif melalui latihan lemparan rotasional. Hal ini memungkinkan terjadinya rotasi pinggul dan bahu yang lebih cepat dan kuat, yang secara efektif memperbesar pra-peregangan pada otot-otot dada dan bahu, sehingga menyimpan lebih banyak energi elastis (Zhang et al., 2016).

Akselerasi Akhir yang Lebih Cepat: Akhirnya, energi yang telah diakumulasikan dan ditransfer ini dilepaskan melalui segmen lengan dan bahu yang kini juga lebih kuat dan eksplosif (tercermin dari peningkatan SMBT). Hal ini menghasilkan rotasi internal bahu dan pronasi lengan bawah yang jauh lebih cepat, yang pada akhirnya memaksimalkan kecepatan kepala raket saat tumbukan dengan *shuttlecock* (David B. Waddell, 2000).

Dengan demikian, keberhasilan program pelatihan ini tidak hanya terletak pada penguatan otot secara individual, tetapi pada kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi SSC di seluruh segmen tubuh yang terlibat dan, yang terpenting, meningkatkan kemampuan tubuh untuk mentransfer energi secara mulus dari satu segmen ke segmen berikutnya. Peningkatan kecepatan *smash* adalah manifestasi dari rantai kinetik yang bekerja secara lebih harmonis dan bertenaga.

Secara praktis, hasil penelitian ini menawarkan protokol latihan 6 minggu yang terbukti efektif, efisien, dan dapat diimplementasikan oleh pelatih bulu tangkis untuk meningkatkan kekuatan pukulan *smash* atlet mereka. Pendekatan ULLPT yang terintegrasi terbukti lebih unggul daripada pendekatan latihan yang terisolasi dan harus menjadi pertimbangan utama dalam penyusunan program latihan, terutama pada fase persiapan umum atau pra-kompetisi.

Namun, penting untuk mengkontekstualisasikan temuan ini. Sejalan dengan penelitian oleh Milde et al. (2014), perlu disadari bahwa peningkatan kapasitas fisik (kekuatan ledak) adalah fondasi, tetapi bukan satu-satunya penentu performa. Untuk menerjemahkan sepenuhnya potensi daya yang lebih besar ini menjadi pukulan *smash* yang lebih efektif dan akurat di lapangan, peningkatan fisik ini harus didampingi dengan latihan teknik yang berkelanjutan. Latihan teknik akan memastikan bahwa waktu (*timing*), koordinasi, dan efisiensi gerakan tetap terjaga seiring dengan meningkatnya kecepatan dan kekuatan (Fröhlich et al., 2014).

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, ukuran sampel yang relatif kecil ($n=30$) membatasi generalisasi hasil ke populasi yang lebih luas. Kedua, penelitian ini hanya melibatkan atlet putra remaja, sehingga hasilnya mungkin tidak dapat diterapkan secara langsung pada atlet putri atau kelompok usia lain (misalnya, atlet senior) yang mungkin merespons pelatihan secara berbeda. Ketiga, penelitian ini tidak menggunakan analisis kinematik 3D untuk secara langsung mengukur perubahan pada variabel biomekanis seperti kecepatan sudut sendi, yang dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme adaptasi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa program pelatihan pliometrik *upper and lower body* yang diterapkan selama 6 minggu dengan frekuensi 2 kali seminggu terbukti efektif untuk meningkatkan kekuatan ledak otot dan kecepatan pukulan *smash* secara signifikan pada atlet bulu tangkis putra tingkat remaja di PB Bertuah. Peningkatan yang signifikan teramat terjadi pada kekuatan ledak otot tungkai (diukur dengan tes CMJ), kekuatan ledak otot lengan dan bahu (diukur dengan tes SMBT), dan secara kumulatif pada kecepatan pukulan *smash*. Temuan ini mengkonfirmasi hipotesis penelitian dan menekankan pentingnya pendekatan latihan yang terintegrasi dan holistik yang menargetkan seluruh rantai kinetik untuk mengoptimalkan performa dalam bulu tangkis.

DAFTAR PUSTAKA

- Babu, K. R. (2025). *Plyometric Training for Enhanced Jumping Performance and Agility in Adolescent Badminton Players : A Review*. 12(5), 322–326.
- Chen, L., Zhang, Z., Huang, Z., Yang, Q., Gao, C., Ji, H., Sun, J., & Li, D. (2023). Meta-Analysis of the Effects of Plyometric Training on Lower Limb Explosive Strength in Adolescent Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20031849>
- David B. Waddell. (2000). *Biomechanical Principles Applied To Badminton POWER*

- STROKES David B. Waddell and Barbara A. Gowitzke 1 Bryson Sport Consultants, Ancaster, Ontario, Canada 1 McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada. 1989.*
- Deng, N., Soh, K. G., Abdullah, B. Bin, & Huang, D. (2024). Effects of plyometric training on skill-related physical fitness in badminton players: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon, 10(6)*, e28051. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28051>
- Deng, N., Soh, K. G., Zaremohzzabieh, Z., Abdullah, B., Salleh, K. M., & Huang, D. (2023). Effects of Combined Upper and Lower Limb Plyometric Training Interventions on Physical Fitness in Athletes: A Systematic Review with Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(1)*. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010482>
- 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>
- Fröhlich, M., Felder, H., & Reuter, M. (2014). Training Effects of Plyometric Training on Jump Parameters in D- And D/C-Squad Badminton Players. *Journal of Sports Research, 1(2)*, 22–33. <https://doi.org/10.18488/journal.90/2014.1.2/90.2.22.33>
- Gruber, M., Kramer, A., Mulder, E., & Rittweger, J. (2019). The importance of impact loading and the stretch shortening cycle for spaceflight countermeasures. *Frontiers in Physiology, 10(MAR)*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00311>
- Kumar, S., & Das, R. (2024). Biomechanical Determinants Influencing Smash Performance in Racket Sports from 2000 to 2024: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Education Theory and Methodology, 24(4)*, 635–642. <https://doi.org/10.17309/tmfv.2024.4.16>
- 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>
- Santuz, A., & Akay, T. (2023). Muscle spindles and their role in maintaining robust locomotion HHS Public Access. *J Physiol, 601(2)*, 275–285. <https://doi.org/10.1113/JP282563.Muscle>
- Slimani, M., Chamari, K., Miarka, B., Del Vecchio, F. B., & Chéour, F. (2016). Effects of Plyometric Training on Physical Fitness in Team Sport Athletes: A Systematic Review. *Journal of Human Kinetics, 53(1)*, 231–247. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0026>
- Zhang, Z., Li, S., Wan, B., Visentin, P., Jiang, Q., Dyck, M., Li, H., & Shan, G. (2016). The Influence of X-Factor (Trunk Rotation) and Experience on the Quality of the Badminton Forehand Smash. *Journal of Human Kinetics, 53(1)*, 9–22. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0006>