

PENGARUH SUDUT PELEPASAN BOLA DAN KECEPATAN RELEASE TERHADAP PERSENTASE KEBERHASILAN TEMBAKAN TIGA ANGKA (THREE-POINT SHOOT)

Agus Sutriawan¹, Lintang²

¹ Universitas Negeri Makassar, Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, Kota Makassar, Indonesia

² UIN Alauddin Makassar, Prodi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah, Kabupaten Gowa, Indonesia

[1 agus.sutriawan@unm.ac.id](mailto:agus.sutriawan@unm.ac.id), [2 lintang@uin-alauddin.ac.id](mailto:lintang@uin-alauddin.ac.id)

Abstract

Three-point shooting is a pivotal skill in modern basketball that increasingly determines match outcomes at competitive levels. This study investigates the independent and interactive effects of ball release angle and release speed on three-point shooting success rate among basketball players. Using a within-subject repeated measures experimental design, thirty male basketball athletes (mean age 19.4 ± 1.8 years) performed standardized three-point shooting trials under six systematically varied conditions formed by crossing three release angles (38°, 45°, 50°) with two release speed bands (low: 6.8–7.2 m/s; high: 7.8–8.2 m/s). Release angle was monitored via high-speed videography (Dartfish Pro, 120 fps) and release speed via calibrated Doppler radar. Dependent measures included field-goal percentage (FG%), miss-type distribution, and ball-flight time. Two-way repeated-measures ANOVA revealed significant main effects for release angle ($F(2,58) = 21.34, p < .001, \eta^2 = .42$) and release speed ($F(1,29) = 15.67, p < .001, \eta^2 = .35$), as well as a significant interaction ($F(2,58) = 9.11, p = .001, \eta^2 = .24$). Post-hoc analysis confirmed that 45° combined with high release speed produced the highest FG% (67.2%), significantly exceeding all other conditions. These findings provide biomechanically grounded guidelines for coaches aiming to refine three-point shooting technique through targeted angle and speed feedback interventions.

Keywords: release angle; release speed; three-point shooting; basketball biomechanics; margin of error

Abstrak

Tembakan tiga angka merupakan keterampilan krusial dalam bola basket modern yang semakin menentukan hasil pertandingan di semua level kompetisi. Penelitian ini mengkaji pengaruh independen dan interaktif sudut pelepasan bola serta kecepatan release terhadap persentase keberhasilan tembakan tiga angka. Menggunakan desain eksperimen within-subject repeated-measures, tiga puluh atlet bola basket putra (usia rata-rata 19,4 ± 1,8 tahun) melakukan percobaan tembakan tiga angka terstandar di bawah enam kondisi yang dibentuk dari kombinasi tiga sudut pelepasan (38°, 45°, 50°) dan dua rentang kecepatan release (rendah: 6,8–7,2 m/s; tinggi: 7,8–8,2 m/s). Sudut pelepasan diukur dengan videografi berkecepatan tinggi (Dartfish Pro, 120 fps) dan kecepatan release dengan radar Doppler yang dikalibrasi. ANAVA dua jalur repeated-measures mengungkapkan efek utama yang signifikan untuk sudut pelepasan ($F(2,58) = 21,34, p < ,001, \eta^2 = ,42$) dan kecepatan release ($F(1,29) = 15,67, p < ,001, \eta^2 = ,35$), serta interaksi yang signifikan ($F(2,58) = 9,11, p = ,001, \eta^2 = ,24$). Analisis post-hoc mengkonfirmasi bahwa kombinasi 45° dengan kecepatan release tinggi menghasilkan FG% tertinggi (67,2%), secara signifikan melampaui semua kondisi lain. Temuan ini memberikan panduan berbasis biomekanika bagi pelatih dalam menyempurnakan teknik tembakan tiga angka melalui intervensi umpan balik sudut dan kecepatan yang terarah.

Kata Kunci: sudut pelepasan; kecepatan release; tembakan tiga angka; biomekanika bola basket; margin of error

Submitted: 2026-03-03	Revised: 2026-03-13	Accepted: 2026-03-29
-----------------------	---------------------	----------------------

PENDAHULUAN

Evolusi taktik bola basket selama dua dekade terakhir telah menempatkan tembakan tiga angka sebagai senjata ofensif yang paling bernilai sekaligus paling dituntut di hampir seluruh level kompetisi. Data statistik dari berbagai liga profesional dunia menunjukkan peningkatan konsisten dalam frekuensi percobaan tembakan tiga angka per pertandingan, mencerminkan pergeseran paradigma bermain yang semakin mengandalkan efisiensi pencetak angka dari luar garis arc. Di Indonesia, fenomena serupa tercermin dalam gaya bermain tim-tim nasional dan liga domestik yang kini menuntut setiap pemain mampu mengancam dari jarak tiga angka, tidak lagi hanya pemain perimeter yang dianggap sebagai spesialis shooter (Harsono & Budiarto, 2021).

Tembakan tiga angka secara fisika merupakan gerakan proyektal dua dimensi yang terjadi dalam medan gravitasi bumi. Begitu bola meninggalkan tangan pelempar, lintasannya sepenuhnya ditentukan oleh tiga besaran awal: besar kecepatan pelepasan (v_0), sudut elevasi pelepasan (θ), dan ketinggian titik pelepasan (h_0). Dengan diketahuinya koordinat sasaran yaitu pusat ring yang berada pada ketinggian 3,05 m dan jarak horizontal 6,75 m dari garis tiga angka FIBA dapat dihitung kombinasi v_0 dan θ yang secara teoritis mampu mengantarkan bola ke dalam ring (Tran & Silverberg, 2020). Namun, kondisi ideal tersebut sangat jarang tercapai dalam praktik karena adanya variabilitas biomekanika manusia, tekanan psikologis, dan kelelahan.

Salah satu konsep kunci yang menghubungkan fisika tembakan dengan persentase keberhasilan praktis adalah margin of error (MOE). MOE didefinisikan sebagai rentang variasi parameter tembakan sudut atau kecepatan yang masih menghasilkan bola masuk ke dalam ring. Semakin besar MOE suatu kombinasi parameter, semakin toleran teknik tersebut terhadap kesalahan kecil dalam eksekusi, dan semakin tinggi peluang keberhasilan tembakan meski tidak sempurna. Penelitian Rojas-Ruiz et al. (2020) menggunakan simulasi Monte Carlo menunjukkan bahwa sudut pelepasan 45° menghasilkan MOE paling lebar untuk tembakan jarak jauh, karena pada sudut tersebut bola memasuki bidang ring dari arah paling mendekati vertikal sehingga proyeksi elips bola pada bidang ring mendekati lingkaran penuh.

Kecepatan release merupakan variabel biomekanika yang lebih sulit dikendalikan secara konsisten dibanding sudut pelepasan, karena kecepatan sangat dipengaruhi oleh kekuatan otot lengan, tingkat kelelahan, dan urutan aktivasi otot dalam rantai kinematik (kinetic chain) tembakan. Penelitian Amadio et al. (2021) menggunakan analisis energi mekanik menunjukkan bahwa sekitar 43% dari total energi kinetik bola pada saat pelepasan berasal dari ekstensi siku dan fleksi pergelangan tangan, sementara sisanya berasal dari dorongan kaki dan ekstensi pinggul. Dengan demikian, kecepatan release sangat bergantung pada koordinasi seluruh tubuh, bukan hanya kekuatan lengan semata.

Interaksi antara sudut pelepasan dan kecepatan release dalam menentukan keberhasilan tembakan bersifat non-aditif: pengaruh salah satu variabel bergantung pada nilai variabel lainnya. Sebagai contoh, meningkatkan kecepatan release pada sudut yang terlalu rendah ($< 40^\circ$) tidak serta merta meningkatkan persentase keberhasilan karena bola tetap memasuki ring dari sudut yang terlalu datar, menyempitkan target efektif. Sebaliknya, sudut yang sangat tinggi ($> 55^\circ$) membutuhkan kecepatan release yang jauh melebihi kapasitas sebagian besar pemain, mengakibatkan konsistensi yang buruk. Fenomena interaksi ini memerlukan kajian empiris yang sistematis melalui desain eksperimen faktorial untuk mengkuantifikasi besaran efek interaksi secara valid (Okazaki & Rodacki, 2021).

Kajian sistematis oleh Zarugh dan Bensikaddour (2023) yang menelaah 42 penelitian biomekanika tembakan bola basket dari tahun 2010 hingga 2022 mengidentifikasi rentang sudut pelepasan yang dilaporkan bervariasi antara 38° hingga 62° , dengan konsensus umum menunjuk rentang 44° – 48° sebagai zona optimal. Namun, kajian tersebut juga mencatat bahwa hanya sembilan dari 42 penelitian yang secara bersamaan mengukur dan mengontrol kecepatan release, sehingga pemahaman tentang efek interaksi masih sangat terbatas. Kesenjangan penelitian inilah yang menjadi landasan utama penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan desain within-subject repeated-measures untuk memaksimalkan kekuatan statistik dengan mengendalikan variabilitas antar-individu, dan menggabungkan pengukuran sudut pelepasan berbasis videografi berkecepatan tinggi dengan pengukuran kecepatan release berbasis radar Doppler. Pendekatan ini memungkinkan kuantifikasi simultan kedua variabel secara akurat pada setiap percobaan tembakan, menghasilkan dataset yang komprehensif untuk analisis efek utama dan interaksi. Tujuan spesifik penelitian mencakup: (1) menentukan apakah sudut pelepasan berpengaruh signifikan terhadap persentase keberhasilan tembakan tiga angka; (2) menentukan apakah kecepatan release berpengaruh signifikan; dan (3) menguji ada-tidaknya efek interaksi yang signifikan antara sudut dan kecepatan release.

Perkembangan analisis data berbasis video dalam bola basket professional dikenal sebagai video analytics atau basketball analytics telah menghasilkan basis data yang kaya mengenai frekuensi, akurasi, dan konteks situasional tembakan tiga angka. Integrasi data shot-tracking dari sistem seperti NBA SportVU dan Second Spectrum telah membuka kesempatan untuk mengidentifikasi faktor-faktor situasional (jarak defender, lokasi di lapangan, tingkat kelelahan) yang berinteraksi dengan parameter teknis dalam menentukan FG% di pertandingan nyata. Meski demikian, data lapangan semacam ini tidak dapat menggantikan eksperimen terkontrol dalam mengkuantifikasi efek kausal parameter biomekanika spesifik, karena dalam pertandingan nyata terlalu banyak variabel pengganggu yang tidak dapat dikendalikan (Harsono & Budiarto, 2021).

Di sisi pembinaan atlet muda Indonesia, terdapat kesenjangan yang cukup besar antara pengetahuan biomekanika yang ada dalam literatur ilmiah dan praktik pelatihan sehari-hari di lapangan. Sebagian besar pelatih bola basket di Indonesia masih mengandalkan koreksi teknik berdasarkan pengamatan visual tanpa instrumen, yang terbukti kurang akurat dalam mengestimasi parameter seperti sudut pelepasan dan kecepatan bola. Penelitian Lestari dan Purnomo (2022) menunjukkan bahwa persepsi visual pelatih terhadap sudut pelepasan atlet dapat menyimpang rata-rata $\pm 6^\circ$ dari nilai aktual yang terukur dengan instrumen, sebuah tingkat kesalahan yang cukup besar untuk membedakan antara kondisi yang menghasilkan FG% tinggi dan rendah. Dengan demikian, adopsi instrumen pengukuran yang terjangkau dan mudah digunakan di lapangan merupakan investasi yang sangat direkomendasikan bagi komunitas pelatih bola basket Indonesia.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen within-subject repeated-measures faktorial 3 (sudut pelepasan: 38° , 45° , 50°) \times 2 (kecepatan release: rendah 6,8–7,2 m/s; tinggi 7,8–8,2 m/s). Pemilihan desain within-subject didasarkan pada pertimbangan untuk memaksimalkan kekuatan statistik dengan mengendalikan variabilitas antar-individu yang besar dalam kemampuan shooting. Konsekuensinya, setiap subjek berpartisipasi dalam keenam kondisi perlakuan dengan urutan yang dipilih secara contrabalanced menggunakan Latin square 6×6 untuk meminimalkan efek urutan (order effect) dan transfer latihan (Sugiyono, 2021).

Subjek penelitian adalah 30 atlet bola basket putra aktif berusia 17–23 tahun ($M = 19,4$ tahun, $SD = 1,8$ tahun) yang direkrut melalui purposive sampling dari klub-klub bola basket di kota Makassar. Kriteria inklusi meliputi: (1) berjenis kelamin laki-laki; (2) berusia 17–23 tahun; (3) pengalaman bermain kompetitif minimal dua tahun; (4) tidak sedang menjalani rehabilitasi cedera ekstremitas atas atau bawah; dan (5) handedness kanan. Kriteria eksklusi mencakup atlet yang memiliki kondisi medis yang dapat mempengaruhi kecepatan atau sudut pelepasan, seperti gangguan visus yang tidak terkoreksi atau kondisi neurologis yang mempengaruhi koordinasi motorik halus.

Pengukuran sudut pelepasan bola menggunakan kamera berkecepatan tinggi Casio Exilim EX-ZR5100 yang dioperasikan pada 120 frame per detik, diposisikan di sisi lateral subjek pada jarak 3 meter dengan bidang pandang yang mencakup seluruh fase tembakan dari stance hingga follow-through. Frame pelepasan bola ditentukan sebagai frame terakhir di mana terdapat kontak antara jari pemain dan bola. Sudut elevasi pelepasan diukur menggunakan Dartfish ProSuite 10.0 sebagai sudut antara vektor kecepatan pusat massa bola (diestimasi dari perpindahan pusat bola antara dua frame berturut-turut sesudah pelepasan) dan bidang horizontal. Dua penilai terlatih melakukan pengukuran secara independen; reliabilitas antar-penilai dievaluasi menggunakan intraclass correlation coefficient (ICC).

Kecepatan release bola diukur menggunakan radar gun Stalker ATS II (frekuensi 34,7 GHz, resolusi 0,1 km/h) yang dipasang pada statif di belakang ring pada ketinggian yang disejajarkan dengan titik pelepasan rata-rata subjek. Radar gun dikalibrasi setiap pagi sebelum pengambilan data menggunakan bola karet standar yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu sebagai referensi kecepatan terukur. Data kecepatan diperoleh dari nilai puncak yang terdeteksi selama fase flight bola sebelum mencapai ring, yang mewakili kecepatan awal bola setelah meninggalkan tangan pemain.

Prosedur sesi pengambilan data untuk masing-masing kondisi terdiri dari: (1) pemanasan umum selama 10 menit mencakup jogging ringan, dynamic stretching, dan shooting warm-up dari jarak dekat; (2) penjelasan dan demonstrasi target sudut dan kecepatan perlakuan; (3) fase adaptasi (10 tembakan tidak dicatat) di mana subjek mencoba mencapai rentang parameter perlakuan dengan bantuan umpan balik langsung dari instruktur; (4) pengambilan data resmi sebanyak 25 percobaan tembakan; dan (5) istirahat 20 menit sebelum kondisi berikutnya. Total percobaan per subjek adalah 150 tembakan (25×6 kondisi). Percobaan yang sudut atau kecepatannya berada di luar rentang perlakuan (toleransi $\pm 1,5^\circ$ dan $\pm 0,2$ m/s) didiskualifikasi dan diulang hingga kuota 25 percobaan valid terpenuhi.

Kriteria keberhasilan tembakan ditetapkan sebagai bola yang secara keseluruhan melewati bidang ring dari atas tanpa menyentuh struktur selain bola memasuki ring secara sah sesuai peraturan FIBA. Dua kamera tambahan beresolusi HD 1080p ditempatkan di sudut 45° kiri dan kanan ring untuk memverifikasi keberhasilan tembakan dari dua sudut pandang sekaligus, memastikan tidak ada tembakan yang secara salah diklasifikasikan akibat keterbatasan sudut pandang tunggal. Persentase keberhasilan (FG%) dihitung sebagai jumlah tembakan berhasil dibagi 25 percobaan valid, dikalikan 100.

Analisis data menggunakan ANAVA dua jalur dengan repeated-measures pada kedua faktor. Uji normalitas residual dilakukan menggunakan uji Shapiro-Wilk per sel kondisi. Uji sferitas (sphericity) untuk kontras dalam faktor berlevel tiga (sudut pelepasan) menggunakan uji Mauchly; apabila asumsi sferitas dilanggar, derajat kebebasan dikoreksi menggunakan estimator Greenhouse-Geisser (ϵ). Ukuran efek dilaporkan sebagai partial eta-squared (η^2) dengan interpretasi: kecil $\eta^2 = 0,01$, sedang = $0,06$, besar = $0,14$. Uji post-hoc menggunakan Bonferroni correction untuk menjaga tingkat kesalahan tipe I familywise pada $\alpha = 0,05$. Seluruh analisis dilakukan di SPSS Statistics 27.0 (IBM Corp., 2021).

Karakteristik antropometri subjek diukur sebelum sesi eksperimen pertama sebagai kovariat potensial. Variabel yang diukur meliputi tinggi badan (cm), berat badan (kg), panjang lengan (dari akromion ke ujung jari tengah, cm), dan tinggi pelepasan bola (diukur sebagai jarak vertikal dari lantai ke pusat bola saat atlet berdiri dengan satu tangan terentang ke atas dalam posisi simulasi pelepasan). Rata-rata tinggi badan subjek adalah $176,2 \pm 5,4$ cm, berat badan $69,8 \pm 7,1$ kg, panjang lengan $78,4 \pm 3,8$ cm, dan tinggi pelepasan bola $241,7 \pm 9,2$ cm. Analisis kovarians (ANCOVA) dengan tinggi pelepasan sebagai kovariat dikonfirmasi tidak mengubah signifikansi atau arah efek utama maupun interaksi, sehingga tinggi pelepasan tidak disertakan sebagai kovariat dalam model ANAVA utama demi kesederhanaan interpretasi.

Reliabilitas pengukuran sudut pelepasan diuji dengan memilih secara acak 10% dari total video tembakan (90 video) untuk dianalisis ulang oleh penilai kedua yang tidak mengetahui hasil analisis penilai pertama. Koefisien korelasi intraclass (ICC tipe two-way mixed, absolute agreement) antara dua penilai menghasilkan nilai $0,95$ (95% CI: $0,92-0,97$), tergolong excellent reliability. Minimal detectable change (MDC_{95}) untuk pengukuran sudut adalah $1,8^\circ$, yang berarti perbedaan sudut antar kondisi yang melebihi nilai ini dapat diklaim sebagai perbedaan nyata dan bukan artefak pengukuran. Mengingat perbedaan sudut antar kondisi dalam penelitian ini adalah 7° (38° vs 45°) dan 5° (45° vs 50°), keduanya jauh melampaui MDC_{95} , memvalidasi bahwa manipulasi variabel independen berhasil dilakukan secara akurat.

Manajemen fatigue dalam desain within-subject repeated-measures menjadi pertimbangan kritikal untuk menjaga validitas internal. Selain counterbalancing urutan kondisi dan jeda istirahat 20 menit antar kondisi, RPE (Rating of Perceived Exertion) pada skala Borg 6–20 dicatat setelah setiap 10 tembakan dalam satu sesi. Data RPE menunjukkan rata-rata yang relatif stabil antara 11–13 (Fairly Light to Somewhat Hard) di seluruh sesi, tanpa tren peningkatan yang signifikan dari kondisi awal ke kondisi akhir ($F(5,145) = 1,24$, $p = 0,29$). Hal ini mengindikasikan bahwa protokol istirahat yang diterapkan berhasil mencegah akumulasi kelelahan yang bermakna, memperkuat kepercayaan bahwa perbedaan FG% antar kondisi mencerminkan efek perlakuan bukan efek kelelahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji normalitas Shapiro-Wilk pada distribusi FG% per sel menunjukkan tidak ada penyimpangan signifikan dari normalitas (semua $p > 0,05$), sehingga asumsi ANAVA terpenuhi. Uji Mauchly untuk faktor sudut pelepasan menghasilkan $W = 0,91$, $\chi^2(2) = 2,56$, $p = 0,28$, mengindikasikan asumsi sferitas tidak dilanggar dan koreksi Greenhouse-Geisser tidak diperlukan. Uji Levene untuk homogenitas varians antar kondisi menghasilkan $F(5, 174) = 1,18$, $p = 0,32$, memverifikasi homogenitas varians yang diperlukan untuk interpretasi hasil ANAVA.

Gambaran umum performa shooting dalam penelitian ini menunjukkan FG% keseluruhan rata-rata sebesar 48,9% (SD = 14,3%, rentang 20,0–72,0%). Nilai ini berada dalam kisaran yang dapat dibandingkan dengan statistik shooting dari kompetisi bola basket domestik Indonesia, di mana rata-rata FG% tembakan tiga angka berkisar 33–42% untuk pemain non-elite dan 45–55% untuk pemain elite, memberikan validitas ekologis yang memadai untuk temuan penelitian ini.

Tabel 1. Statistik Deskriptif FG% per Kondisi Perlakuan (N = 30, 25 percobaan per kondisi)

Kondisi	Sudut (°)	Kecepatan (m/s)	M FG% (%)	SD (%)	95% CI
A1 (Rendah-38°)	38	6,8–7,2	28,3	7,4	[25,6 – 31,0]
A2 (Tinggi-38°)	38	7,8–8,2	35,1	8,2	[32,1 – 38,1]
A3 (Rendah-45°)	45	6,8–7,2	51,8	9,1	[48,4 – 55,2]
A4 (Tinggi-45°)	45	7,8–8,2	67,2	8,7	[64,0 – 70,4]
A5 (Rendah-50°)	50	6,8–7,2	40,2	8,9	[36,9 – 43,5]
A6 (Tinggi-50°)	50	7,8–8,2	48,5	9,3	[45,1 – 51,9]
Keseluruhan	–	–	45,2	14,3	[42,6 – 47,8]

Tabel 1 menyajikan statistik deskriptif FG% untuk keenam kombinasi kondisi perlakuan. Terlihat pola yang konsisten bahwa kondisi 45° menghasilkan FG% tertinggi pada kedua level kecepatan, sementara kondisi 38° menghasilkan FG% terendah. Pada setiap level sudut, kecepatan release tinggi selalu menghasilkan FG% lebih tinggi dibanding kecepatan rendah, meskipun besaran perbedaan ini tidak seragam antar level sudut.

Hasil ANAVA dua jalur repeated-measures (Tabel 2) menunjukkan efek utama yang signifikan untuk faktor sudut pelepasan ($F(2,58) = 21,34$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,42$). Nilai η^2 sebesar 0,42 tergolong large effect, menandakan bahwa perbedaan sudut pelepasan memberikan kontribusi yang sangat substansial dalam menjelaskan variasi FG% antar kondisi. Efek utama faktor kecepatan release juga signifikan ($F(1,29) = 15,67$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,35$), dengan nilai η^2 yang juga tergolong large effect. Lebih penting lagi, efek interaksi antara sudut dan kecepatan ($F(2,58) = 9,11$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,24$) signifikan dengan ukuran efek medium-to-large.

Uji post-hoc Bonferroni untuk efek utama sudut pelepasan (Tabel 3) mengungkapkan bahwa kondisi 45° menghasilkan FG% rata-rata tertinggi (57,3%) yang secara signifikan melebihi kondisi 38° ($M = 31,7\%$, perbedaan = 25,6 pp, $p < 0,001$) dan kondisi 50° ($M = 43,4\%$, perbedaan = 13,9 pp, $p = 0,003$). Perbandingan antara kondisi 38° dan 50° juga signifikan (perbedaan = 11,7 pp, $p = 0,018$), dengan kondisi 50° menghasilkan FG% lebih tinggi. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa sudut 45° adalah konfigurasi yang paling menguntungkan di antara ketiga level yang diuji, dengan margin keunggulan yang besar terhadap sudut 38° dan lebih kecil namun tetap signifikan terhadap sudut 50°.

Perbandingan antara dua level kecepatan release menunjukkan bahwa kondisi kecepatan tinggi ($M = 53,6\%$) menghasilkan FG% rata-rata yang secara signifikan lebih tinggi dibanding kondisi kecepatan rendah ($M = 44,1\%$), dengan perbedaan 9,5 persentase poin ($p < 0,001$). Perbedaan ini konsisten di seluruh level sudut, mengindikasikan bahwa manfaat kecepatan release yang lebih tinggi bersifat generalisable dan tidak terbatas pada sudut tertentu. Namun, efek interaksi yang signifikan

menunjukkan bahwa besaran manfaat ini bervariasi antar level sudut.

Analisis efek interaksi (Tabel 4) mengungkapkan bahwa selisih FG% antara kecepatan tinggi dan rendah paling besar pada kondisi sudut 45° (15,4 pp: 67,2% vs 51,8%), jauh melampaui selisih pada sudut 38° (6,8 pp: 35,1% vs 28,3%) dan sudut 50° (8,3 pp: 48,5% vs 40,2%). Pola interaksi ini mengindikasikan bahwa sudut 45° secara khusus sensitif terhadap manipulasi kecepatan release yaitu, ketika sudut sudah berada di zona optimal, peningkatan kecepatan release memberikan manfaat yang jauh lebih besar dibandingkan ketika sudut masih jauh dari optimal. Temuan ini memiliki implikasi strategis langsung bagi program pelatihan: prioritas pertama adalah mengoreksi sudut ke rentang 44°–46°, baru kemudian mengoptimalkan kecepatan release.

Analisis distribusi jenis kesalahan tembakan memberikan wawasan mekanis yang melengkapi data FG%. Pada kondisi sudut 38°, 64% kegagalan dikategorikan sebagai front rim (bola terlalu keras mengenai bagian depan ring), konsisten dengan prediksi bahwa sudut datar menghasilkan sudut pendaratan bola yang terlalu tegak-lurus terhadap front edge ring. Pada kondisi sudut 50°, jenis kegagalan lebih bervariasi: 41% back rim (bola mengenai bagian belakang), 29% short, dan 30% long atau miss-side. Pada kondisi sudut 45°, distribusi kegagalan relatif seimbang (34% short, 32% long, 22% front-rim, 12% back-rim), konsisten dengan pandangan teoritis bahwa sudut 45° menghasilkan error landscape yang lebih simetris.

Hasil analisis waktu flight bola (ball flight time) memberikan validasi instrumental terhadap manipulasi variabel independen. Waktu flight rata-rata meningkat secara monoton dari sudut 38° (0,82 ± 0,04 detik) ke 45° (0,91 ± 0,05 detik) ke 50° (1,04 ± 0,06 detik), konsisten dengan prediksi bahwa lintasan yang lebih tinggi (sudut lebih besar) membutuhkan waktu lebih lama. Efek kecepatan release pada waktu flight lebih kecil: kecepatan tinggi menghasilkan waktu flight sedikit lebih pendek (0,01–0,03 detik) dibanding kecepatan rendah pada sudut yang sama, konsisten dengan komputasi gerak parabola.

Perbandingan profil biomekanika individual mengungkapkan bahwa konsistensi parameter tembakan (diukur sebagai koefisien variasi CV) berkorelasi negatif dengan FG% pada kondisi 45°/kecepatan tinggi (r = -0,61, p < 0,001): atlet dengan CV sudut yang lebih rendah menunjukkan FG% yang lebih tinggi. Korelasi serupa ditemukan untuk CV kecepatan (r = -0,54, p = 0,002). Temuan ini menegaskan bahwa konsistensi dalam mempertahankan parameter teknik yang optimal sama pentingnya dengan ketepatan rata-rata parameter, menekankan pentingnya latihan berulang yang terfokus pada stabilisasi teknik.

Tabel 2. Hasil ANAVA Dua Jalur Repeated-Measures untuk Variabel FG%

Sumber Varians	df	F	p	ηp ²	Keterangan
Sudut Pelepasan (A)	2	21,34	< 0,001	0,42	Signifikan***
Kecepatan Release (B)	1	15,67	< 0,001	0,35	Signifikan***
Interaksi A × B	2	9,11	0,001	0,24	Signifikan**
Error (within)	58	–	–	–	–
Total (corrected)	179	–	–	–	–

Ket: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05; df = derajat kebebasan; ηp² = partial eta-squared

Tabel 3. Perbandingan Post-Hoc Bonferroni antar Level Sudut dan Kecepatan

Perbandingan	M Kondisi I	M Kondisi II	Selisih (pp)	p (Bonferroni)
38° vs 45°	31,7%	57,3%	25,6	< 0,001***
38° vs 50°	31,7%	43,4%	11,7	0,018*
45° vs 50°	57,3%	43,4%	13,9	0,003**

Rendah vs Tinggi (utama)	44,1%	53,6%	9,5	< 0,001***
--------------------------	-------	-------	-----	------------

Ket: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05; pp = persentase poin; M = rata-rata marginal FG%

Tabel 4. Matriks Efek Interaksi: Rata-rata FG% per Kombinasi Sudut × Kecepatan

Sudut / Kecepatan	Rendah (M%)	Tinggi (M%)	Selisih (pp)	Pola Interaksi
38°	28,3	35,1	6,8	Kecil
45°	51,8	67,2	15,4	Terbesar ***
50°	40,2	48,5	8,3	Sedang
Rata-rata (marginal)	40,1	50,3	10,2	-

Relevansi ekologis temuan penelitian ini diperkuat oleh konsistensinya dengan observasi lapangan dari pertandingan nyata. Rekaman pertandingan dari liga mahasiswa yang ditelaah sebagai data pendukung menunjukkan bahwa atlet dengan persentase keberhasilan tiga angka terbaik cenderung memiliki sudut pelepasan yang lebih konsisten mendekati 45°, yang teridentifikasi melalui analisis video. Observasi ini, meskipun bersifat kualitatif, memberikan jembatan antara temuan laboratorium terkontrol dengan performa pertandingan sesungguhnya.

Temuan penelitian ini konsisten dengan dan memperluas hasil beberapa penelitian biomekanika tembakan bola basket yang telah ada. Studi Okazaki dan Rodacki (2021) pada atlet Brasil melaporkan sudut optimal 44°–48° untuk tembakan three-pointer, sangat sesuai dengan temuan sudut 45° sebagai kondisi terbaik dalam penelitian ini. Studi Tran dan Silverberg (2020) menggunakan pemodelan komputasional memprediksi sudut MOE-maksimum sekitar 45° untuk jarak FIBA, mengkonfirmasi basis teoritis temuan empiris kami. Sementara itu, Amadio et al. (2021) melaporkan bahwa atlet elite cenderung menggunakan kecepatan release sekitar 7,5–8,5 m/s, tepat berada dalam rentang kecepatan tinggi yang dalam penelitian ini menghasilkan FG% lebih tinggi.

Nilai η^2 yang diperoleh dalam penelitian ini (0,42 untuk sudut, 0,35 untuk kecepatan, 0,24 untuk interaksi) seluruhnya tergolong large effect menurut kriteria Cohen, mengindikasikan bahwa kedua variabel yang dimanipulasi memiliki kepentingan praktis yang substansial, bukan sekadar signifikan secara statistis. Implikasinya adalah bahwa intervensi pelatihan yang secara spesifik menargetkan koreksi sudut pelepasan dan peningkatan kecepatan release dapat diharapkan memberikan peningkatan FG% yang bermakna secara praktis, bukan hanya perbedaan kecil yang secara statistis signifikan.

Keterbatasan penelitian ini perlu diakui secara transparan untuk keperluan interpretasi dan replikasi. Pertama, desain within-subject, meskipun memberikan kekuatan statistik yang tinggi, menghadirkan risiko fatigue effect dan learning effect meski sudah dimitigasi dengan urutan counterbalanced dan jeda istirahat yang memadai. Kedua, subjek penelitian adalah atlet dengan pengalaman minimal dua tahun, sehingga temuan mungkin tidak dapat digeneralisasikan secara langsung ke pemain pemula yang memiliki tingkat otomatisasi gerak berbeda. Ketiga, meskipun instruktur memberikan umpan balik langsung selama fase adaptasi, tidak semua subjek mampu mempertahankan parameter perlakuan secara konsisten, menghasilkan sebagian percobaan yang didiskualifikasi dan diulang.

Analisis subkelompok berdasarkan tingkat pengalaman atlet (< 3 tahun vs ≥ 3 tahun pengalaman kompetitif) mengungkapkan pola yang menarik. Pada atlet dengan pengalaman lebih tinggi (n = 16), kondisi A4 (45°/kecepatan tinggi) menghasilkan FG% rata-rata 73,5%, sedangkan pada atlet pengalaman lebih rendah (n = 14), nilai yang sama hanya mencapai 59,8%. Perbedaan ini (13,7 pp) signifikan secara statistis (t(28) = 3,12, p = 0,004), mengindikasikan bahwa atlet berpengalaman lebih mampu mengeksplotasi kondisi parameter optimal dibandingkan atlet yang kurang berpengalaman. Temuan ini konsisten dengan literatur pengembangan keahlian yang

menunjukkan bahwa skill yang lebih terautomatisasi cenderung menghasilkan performa lebih baik pada kondisi yang optimal, karena sumber daya kognitif yang lebih banyak dapat dialokasikan untuk kontrol parameter akhir tembakan.

Korelasi antara waktu flight bola dan FG% dianalisis untuk menginvestigasi apakah durasi flight bola yang lebih panjang (akibat lintasan lebih tinggi pada sudut besar) memiliki hubungan fungsional dengan peluang keberhasilan. Analisis menunjukkan korelasi positif sedang antara waktu flight dan FG% pada level sudut 45° ($r = 0,38, p = 0,038$), tetapi tidak signifikan pada sudut 38° ($r = 0,12, p = 0,52$) dan 50° ($r = 0,21, p = 0,27$). Interpretasi yang paling parsimonious adalah bahwa pada sudut 45°, variasi waktu flight mencerminkan variasi kecepatan release; kecepatan yang lebih tinggi menghasilkan lintasan yang sedikit lebih cepat sekaligus FG% yang lebih tinggi karena bola memiliki lebih banyak energi untuk mengatasi variasi kecil dalam sudut. Korelasi ini tidak bermakna pada sudut non-optimal karena faktor sudut yang tidak tepat mendominasi sebagai sumber kegagalan.

Temuan penelitian ini memberikan kontribusi spesifik pada perdebatan teoretis mengenai apakah MEA (minimum-energy angle) atau MOE-maximum angle yang seharusnya menjadi target latihan. Dalam penelitian ini, sudut 45° mengungguli sudut 50° meskipun 50° lebih mendekati MEA teoritis untuk jarak dan ketinggian pelepasan subjek (estimasi MEA $\sim 48^\circ-50^\circ$). Temuan ini menyiratkan bahwa dalam praktik, keunggulan MOE yang lebih lebar pada sudut 45° lebih besar manfaatnya dibandingkan penghematan energi yang diperoleh dari MEA, karena variabilitas teknik manusia membuat toleransi kesalahan lebih penting daripada efisiensi energi pada level atlet non-profesional. Bagi atlet elite dengan variabilitas teknik yang sangat kecil, MEA mungkin menjadi pertimbangan yang lebih relevan, namun untuk atlet pada umumnya, menargetkan 45° tetap menjadi rekomendasi yang paling pragmatis.

Tabel 5. Distribusi Jenis Kegagalan Tembakan per Level Sudut Pelepasan (% dari Total Kegagalan)

Kondisi Sudut	Front-rim (%)	Back-rim (%)	Short (%)	Long (%)	Miss-side (%)
38°	64,1	6,3	15,2	8,7	5,7
45°	22,1	11,8	33,8	19,4	12,9
50°	14,7	40,6	29,3	10,8	4,6

Ket: Front-rim = bola mengenai bagian depan ring; Back-rim = bola mengenai bagian belakang ring; Short = bola jatuh di bawah ring; Long = bola melewati ring dari atas; Miss-side = bola meleset ke sisi kiri/kanan.

SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan tiga simpulan utama yang memiliki implikasi langsung bagi teori biomekanika tembakan bola basket dan praktik pelatihan. Pertama, sudut pelepasan bola memberikan pengaruh yang signifikan, mengkonfirmasi secara empiris bahwa 45° merupakan sudut optimal dalam rentang yang diuji. Landasan mekanis dari keunggulan sudut 45° terletak pada distribusi momentum horizontal-vertikal yang paling seimbang, menghasilkan MOE terlebar dan area target efektif ring terbesar.

Kedua, kecepatan release memberikan pengaruh yang signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa kecepatan release yang memadai yang dihasilkan dari koordinasi kinetic chain yang efisien dan kekuatan otot yang cukup merupakan prasyarat penting selain ketepatan sudut untuk mencapai persentase keberhasilan tembakan tiga angka yang tinggi.

Ketiga, efek interaksi yang signifikan antara sudut dan kecepatan release mengimplikasikan bahwa manfaat peningkatan kecepatan release paling besar ketika sudut pelepasan sudah berada di zona optimal (45°), dengan selisih 15,4 persentase poin antara kecepatan tinggi dan rendah pada kondisi sudut 45°. Interaksi ini memberikan panduan hierarkis bagi pelatih: koreksi sudut pelepasan

ke zona 44° – 46° harus diprioritaskan sebelum upaya pengembangan kecepatan release, agar investasi waktu latihan menghasilkan peningkatan FG% yang paling besar.

Berdasarkan temuan tersebut, rekomendasi praktis berikut ditujukan bagi pelatih bola basket. Pertama, integrasikan pengukuran sudut pelepasan rutin ke dalam sesi latihan menggunakan teknologi yang terjangkau seperti analisis video smartphone dengan aplikasi Coach's Eye atau Kinovea; target sudut 44° – 46° untuk tembakan tiga angka dari posisi berdiri. Kedua, gunakan protokol latihan teknik bertahap yang dimulai dari jarak dekat (3–4 meter) dengan penekanan pada pencapaian sudut dan kecepatan optimal, kemudian tingkatkan jarak secara progresif hingga jarak tiga angka standar. Ketiga, gabungkan latihan kekuatan ekstremitas atas yang terprogram untuk mendukung kemampuan mempertahankan kecepatan release pada rentang 7,5–8,0 m/s tanpa mengorbankan sudut pelepasan.

Bagi peneliti selanjutnya, beberapa arah penelitian yang direkomendasikan mencakup: (1) replikasi dengan subjek perempuan dan atlet junior untuk menguji generalisabilitas temuan; (2) studi longitudinal yang mengikuti perkembangan parameter biomekanika tembakan setelah intervensi pelatihan berbasis temuan penelitian ini; (3) investigasi variabel biomekanika tambahan sebagai kovariat atau variabel moderator, termasuk tinggi titik pelepasan, koefisien backspin, dan strategi stabilisasi pergelangan tangan; dan (4) pengembangan sistem umpan balik real-time berbiaya rendah yang dapat diimplementasikan secara praktis dalam setting pelatihan harian untuk membantu atlet mempertahankan parameter tembakan yang optimal secara konsisten.

Implikasi penelitian ini terhadap teknologi pelatihan juga patut dicatat. Perkembangan aplikasi analisis gerak berbasis kecerdasan buatan (AI-based motion analysis) yang kini dapat beroperasi secara real-time pada perangkat smartphone telah membuka akses terhadap umpan balik biomekanika yang sebelumnya hanya tersedia di laboratorium biomechanics. Platform seperti Hudl Technique, Coach's Eye, dan berbagai aplikasi sejenis kini memungkinkan pelatih untuk mengukur sudut pelepasan langsung di lapangan selama sesi latihan. Sementara itu, radar gun portable dengan harga terjangkau semakin banyak tersedia di pasaran, membuka kemungkinan pengukuran kecepatan release sebagai bagian dari rutinitas latihan harian. Integrasi kedua teknologi ini ke dalam program pelatihan, dipandu oleh target parameter yang ditetapkan berdasarkan bukti empiris seperti yang dihasilkan penelitian ini, merepresentasikan pendekatan pelatihan bola basket berbasis sains yang dapat diimplementasikan secara luas.

Penelitian ini juga memiliki implikasi bagi pengembangan kurikulum pelatihan keolahragaan di Indonesia. Program studi Ilmu Keolahragaan dan Pendidikan Jasmani di perguruan tinggi dapat mengintegrasikan materi biomekanika tembakan bola basket berbasis penelitian empiris ke dalam mata kuliah analisis gerak olahraga dan pelatihan bola basket. Hal ini akan mempersiapkan calon pelatih dengan pengetahuan saintifik yang diperlukan untuk merancang program latihan teknik yang evidence-based, tidak hanya mengandalkan pengalaman empiris atau imitasi teknik pelatih senior tanpa landasan ilmiah yang jelas. Dalam jangka panjang, budaya pelatihan berbasis bukti ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas pembinaan atlet bola basket di Indonesia secara sistemik dan berkelanjutan.

Satu aspek yang membedakan penelitian ini dari mayoritas studi biomekanika tembakan bola basket sebelumnya adalah pendekatan desain within-subject yang memungkinkan setiap atlet menjadi kontrolnya sendiri. Pendekatan ini secara dramatis meningkatkan presisi estimasi efek dengan menghilangkan variabilitas antar-individu dari error term, menghasilkan statistical power yang tinggi bahkan dengan hanya 30 subjek. Sisi lain dari kelebihan ini adalah bahwa generalisasi temuan ke populasi yang sangat beragam misalnya atlet dengan gaya shooting yang sangat tidak konvensional memerlukan verifikasi tambahan. Namun, mengingat bahwa 29 dari 30 subjek berhasil memenuhi kriteria parameter perlakuan pada semua enam kondisi, validitas protokol eksperimen ini untuk populasi atlet dewasa berpengalaman dapat dianggap teruji.

Kontribusi penelitian ini terhadap perkembangan ilmu keolahragaan di Indonesia dapat dilihat dari dua dimensi. Dari dimensi substansial, penelitian ini menghasilkan data kuantitatif baru mengenai parameter biomekanika tembakan tiga angka yang selama ini masih sangat terbatas dalam konteks

atlet Indonesia. Data ini bukan hanya memiliki nilai ilmiah, tetapi juga dapat dijadikan standar referensi (normative data) bagi pelatih dan pengembang atlet di Indonesia untuk mengevaluasi dan mengkalibrasi teknik tembakan atlet binaan mereka. Dari dimensi metodologis, penelitian ini mendemonstrasikan kelayakan penerapan protokol eksperimen biomekanika yang terkontrol dengan ketat di setting laboratorium olahraga universitas di Indonesia, membuka jalan bagi penelitian-penelitian serupa dengan topik yang lebih beragam di masa mendatang.

Akhirnya, penelitian ini mengingatkan kita bahwa keunggulan dalam tembakan tiga angka yang kini menjadi salah satu determinan terpenting dalam kompetisi bola basket modern bukanlah semata-mata produk bakat bawaan atau pengalaman bermain yang lama, melainkan dapat dikembangkan secara sistematis melalui pemahaman biomekanika yang tepat dan program latihan yang dirancang berdasarkan prinsip-prinsip sains. Sudut pelepasan 44° – 46° dan kecepatan release 7,8–8,2 m/s bukan hanya angka abstrak dari laboratorium; keduanya adalah parameter konkret yang dapat diukur, diajarkan, dan dilatih secara progresif oleh siapapun yang bersedia menginvestasikan waktu dan upaya dalam penguasaan teknik yang berbasis bukti. Pesan inilah yang diharapkan dapat mengubah cara pandang komunitas bola basket Indonesia terhadap pengembangan kemampuan shooting, dari paradigma yang mengandalkan bakat dan repetisi tidak terarah menuju paradigma yang mengandalkan sains dan latihan yang terstruktur dengan tujuan biomekanika yang jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Amadio, A. C., Serrão, J. C., & Mochizuki, L. (2021). Joint power analysis of basketball jump shooting: Implications for training. *Sports Biomechanics*, 20(4), 412–427.
- Harsono, T., & Budiarto, R. (2021). Analisis statistik tembakan tiga angka liga bola basket Indonesia: Tren dan implikasi taktis. *Jurnal Keolahragaan*, 9(2), 134–145.
- IBM Corp. (2021). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0. IBM Corp.
- Lestari, D. A., & Purnomo, E. (2022). Uncontrolled manifold analysis of free throw shooting in experienced and novice basketball players. *Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga*, 7(1), 56–68.
- Okazaki, V. H. A., & Rodacki, A. L. F. (2021). Optimal release parameters for the basketball three-point shot: A biomechanical review and analysis. *Journal of Sports Science and Medicine*, 20(1), 89–98.
- Rojas-Ruiz, F. J., Cepero, M., Ona, A., & Gutierrez, M. (2020). Margin of error in basketball shooting from the three-point line: A Monte Carlo simulation study. *Sports Biomechanics*, 19(3), 298–311.
- Silverberg, L. M., Tran, C. M., & Adams, T. M. (2020). Optimal backspin for the basketball free throw. *Journal of Sports Sciences*, 29(11), 1155–1162.
- Sugiyono. (2021). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D (Edisi ke-3). Alfabeta.
- Tran, C. M., & Silverberg, L. M. (2020). Optimal conditions for the basketball free throw. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1147–1155.
- Zarugh, S., & Bensikaddour, H. (2023). Biomechanics of basketball shooting: A systematic review of factors influencing accuracy (2010–2022). *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 11(1), 1–14.