

Polimorfisme Gen ACTN3 Pada Performa Fast Twitch Muscle Atlet Basket Dan Futsal Fakultas Kedokteran Universitas Swadaya Gunung Jati

Ferdian Muhammad Rafsandani¹, Donny Nauphar², Widiyatmiko Arifin Putro³

Fakultas Kedokteran Universitas Swadaya Gunung Jati¹

Departemen Genetika dan Biologi Molekuler Universitas Swadaya Gunung Jati²

Departemen Bedah Tulang dan Muskuloskeletal Universitas Swadaya Gunung Jati³

*Corresponding author: ferdian10mr@gmail.com

Abstrak: Performa fast twitch muscle sangat penting dalam olahraga yang membutuhkan kekuatan dan kecepatan eksplosif, seperti basket dan futsal. Gen ACTN3 berperan penting dalam fungsi otot tipe II yang menghasilkan kekuatan cepat. Polimorfisme gen ini, khususnya varian R577X, telah dikaitkan dengan perbedaan performa fast twitch muscle. Penelitian ini bertujuan menganalisis perbedaan performa fast twitch muscle berdasarkan polimorfisme gen ACTN3 pada atlet basket dan futsal Fakultas Kedokteran Universitas Swadaya Gunung Jati. Penelitian menggunakan desain observasional analitik cross-sectional terhadap 26 atlet yang dipilih dengan total sampling. Polimorfisme ACTN3 diperiksa melalui ekstraksi DNA, PCR-RFLP menggunakan enzim DdeI, dan elektroforesis gel. Performa fast twitch muscle dinilai menggunakan sprint 30 meter, vertical jump, serta 1RM leg extension, leg curl, hip abduction, dan hip adduction. Analisis menggunakan uji Shapiro-Wilk dan Kruskal-Wallis. Genotipe RX ditemukan pada 14 atlet (53,8%) dan XX pada 12 atlet (46,2%), tanpa genotipe RR. Rerata seluruh parameter performa kelompok RX lebih tinggi dibandingkan XX, tetapi tidak terdapat perbedaan bermakna pada seluruh tes ($p > 0,05$). Genotipe RX menunjukkan kecenderungan performa fast twitch muscle yang lebih baik, tetapi polimorfisme ACTN3 belum terbukti berhubungan signifikan dengan performa pada populasi penelitian.

Kata kunci: ACTN3, polimorfisme gen, fast twitch muscle, basket, futsal

Abstract: Fast-twitch muscle performance is an important component in sports requiring strength, speed, and explosive power over a short period, including basketball and futsal. In addition to training, nutrition, and physical condition, genetic variation may contribute to differences in skeletal muscle capacity. One of the most extensively studied genes is ACTN3, which encodes α -actinin-3, a structural protein predominantly expressed in type II muscle fibers. The R577X polymorphism of the ACTN3 gene results in variation in α -actinin-3 expression and has been associated with differences in explosive muscle performance. This study aimed to analyze differences in fast-twitch muscle performance according to ACTN3 gene polymorphism among basketball and futsal athletes at the Faculty of Medicine, Swadaya Gunung Jati University. This analytical observational study used a cross-sectional design involving 26 athletes selected through total sampling. ACTN3 polymorphism was identified through DNA extraction, polymerase chain reaction–restriction fragment length polymorphism (PCR-RFLP) using the DdeI restriction enzyme, followed by gel electrophoresis. Fast-twitch muscle performance was assessed using a 30-meter sprint test, vertical jump test, and one-repetition maximum (1RM) tests for leg extension, leg curl, hip abduction, and hip adduction. Data were analyzed using the Shapiro-Wilk and Kruskal-Wallis tests. The RX genotype was identified in 14 athletes (53.8%), whereas the XX genotype was found in 12 athletes (46.2%); no RR genotype was detected. The RX group demonstrated higher mean performance values across all fast-twitch muscle tests than the XX group; however, none of the differences were statistically significant ($p > 0.05$). The RX genotype showed a tendency toward better fast-twitch muscle performance, although ACTN3 polymorphism was not significantly associated with performance in this study population.

Keywords: ACTN3, gene polymorphism, fast-twitch muscle, basketball, futsal

Pendahuluan

Performa atlet merupakan hasil interaksi kapasitas fisik, teknik, taktik, psikologis, pola latihan, status nutrisi, dan karakteristik biologis individual, sehingga pencapaian prestasi tidak dapat dijelaskan oleh satu faktor tunggal (Pangastuti, 2022; Amansyah, 2019). Di antara komponen fisik tersebut, kekuatan, kecepatan, daya ledak, kelincahan, dan daya tahan menjadi determinan utama kemampuan atlet merespons tuntutan cabang olahraga secara optimal (Beattie et al., 2017; Zouhal et al., 2019). Variasi genetik juga telah dipelajari sebagai salah satu komponen biologis yang dapat memodulasi performa, termasuk respons terhadap latihan dan karakteristik otot rangka (Dogan et al., 2022; Yang et al., 2023). Karena itu, pengembangan ilmu kedokteran olahraga modern mulai menempatkan data fenotipik dan genetik sebagai informasi komplementer untuk memahami heterogenitas performa antarindividu (Dogan et al., 2022; El Ouali et al., 2024).

Fast-twitch muscle atau serabut otot tipe II secara fisiologis berkontraksi cepat dan mampu menghasilkan gaya besar dalam waktu singkat, sehingga berperan dominan pada sprint, lompatan, akselerasi, perubahan arah cepat, dan angkatan beban maksimal (Sherwood, 2016; Serrano et al., 2019). Serabut tipe IIa memiliki karakter metabolik campuran aerob-anaerob, sedangkan tipe IIx memiliki kapasitas menghasilkan gaya dan kecepatan sangat tinggi tetapi cepat mengalami kelelahan (Sherwood, 2016). Komposisi dan adaptasi serabut otot dipengaruhi oleh latihan, status fisiologis, serta faktor genetik, dan latihan kekuatan atau power dapat mengubah karakteristik serabut serta keluaran mekanik otot (Wilson et al., 2012; Bogdanis et al., 2018). Oleh sebab itu, pengukuran sprint, vertical jump, dan 1RM merupakan pendekatan fungsional yang relevan untuk menggambarkan komponen performa eksplosif yang banyak bergantung pada rekrutmen serabut tipe II (Setyawan, 2022; Bogdanis et al., 2018).

Basket dan futsal sama-sama menuntut aktivitas intermiten berintensitas tinggi yang melibatkan percepatan, deselerasi, lompatan, perubahan arah, serta kekuatan ekstremitas bawah berulang (Asković et al., 2021; Iodice et al., 2020). Pada basket, kualitas explosive power mendukung lompatan, percepatan, penghentian mendadak, dan perubahan arah yang menentukan efektivitas permainan (Asković et al., 2021). Pada futsal, kapasitas kontraktil dan power ekstremitas bawah juga penting karena permainan berlangsung dinamis dengan transisi cepat dan aktivitas eksplosif yang berulang (Iodice et al., 2020). Kesamaan tuntutan fisiologis tersebut menjadikan atlet basket dan futsal populasi yang relevan untuk mengevaluasi hubungan variasi genetik dengan fenotipe fast-twitch muscle (Yang et al., 2023; Iodice et al., 2020).

Salah satu kandidat gen yang paling banyak diteliti dalam olahraga eksplosif adalah ACTN3, yang mengode protein α -actinin-3 pada garis Z sarkomer dan terutama diekspresikan pada serabut otot cepat (NCBI, 2024; Broos et al., 2016). Polimorfisme rs1815739 atau R577X menghasilkan perubahan kodon yang membedakan alel R fungsional dari alel X yang menyebabkan penghentian translasi, sehingga individu XX tidak mengekspresikan α -actinin-3 (NCBI, 2024; Norman et al., 2014). Bukti pada serabut otot manusia menunjukkan ACTN3 berkaitan dengan fenotipe kecepatan dan karakter kontraktile, sedangkan kajian meta-analitik menunjukkan distribusi genotipe R577X berbeda antara atlet power, endurance, dan non-atlet (Broos et al., 2016; El Ouali et al., 2024). Pada atlet Eropa, genotipe RR dan RX dilaporkan lebih banyak berkaitan dengan fenotipe sprint/power dibandingkan XX, walaupun besarnya asosiasi tidak seragam pada semua populasi dan cabang olahraga (Eynon et al., 2012; El Ouali et al., 2024).

Heterogenitas hasil antarpopulasi merupakan masalah inti dalam pemanfaatan ACTN3 sebagai penanda performa karena frekuensi alel, latar belakang etnis, tingkat latihan, usia, komposisi tubuh, serta protokol pengukuran dapat memengaruhi hubungan genotipe-fenotipe (Agustina et al., 2016; El Ouali et al., 2024). Penelitian pada atlet sepak bola Universitas Jenderal Soedirman tidak menemukan hubungan bermakna antara polimorfisme ACTN3 dan performa otot secara keseluruhan, menunjukkan bahwa temuan internasional tidak selalu terulang pada populasi Indonesia (Agustina et al., 2016). Penelitian lain di Indonesia juga melaporkan bahwa polimorfisme ACTN3 berkaitan dengan daya ledak, tetapi tidak menunjukkan hubungan bermakna dengan kecepatan dan kelincahan, sehingga efeknya mungkin spesifik terhadap dimensi performa tertentu (Candrawati et al., 2017). Sebaliknya, studi pada pemain sepak bola muda Tiongkok serta penelitian pada atlet elit Eropa mendukung adanya kontribusi variasi ACTN3 terhadap karakteristik performa tertentu, khususnya yang berhubungan dengan power dan sprint (Yang et al., 2023; Eynon et al., 2012).

terbatasnya data lokal mengenai distribusi ACTN3 R577X sekaligus hubungannya dengan beberapa indikator fast-twitch muscle dalam satu kelompok atlet universitas yang menjalani cabang olahraga eksplosif berbeda (Agustina et al., 2016; Candrawati et al., 2017). Penelitian sebelumnya banyak berfokus pada sepak bola, bulu tangkis elit, atau outcome tunggal seperti kecepatan, kelincahan, daya ledak, pemulihan cedera, dan distribusi genotipe, sehingga belum secara langsung menggambarkan profil gabungan sprint, vertical jump, dan kekuatan 1RM pada atlet basket dan futsal Fakultas Kedokteran

Universitas Swadaya Gunung Jati (Rodas et al., 2021; Candrawati et al., 2017; Abián-Vicén et al., 2023). Pendekatan multi-outcome pada populasi lokal berpotensi memperkaya basis data genetik olahraga Indonesia dan membantu menilai apakah kecenderungan biologis yang dilaporkan pada populasi lain dapat diamati pada atlet mahasiswa (Agustina et al., 2016; El Ouali et al., 2024). Potensi tersebut penting bukan untuk menjadikan genotipe sebagai penentu bakat tunggal, melainkan sebagai komponen informasi yang dapat diuji bersama karakteristik fisik, latihan, dan lingkungan dalam kerangka pembinaan berbasis bukti (Susanto et al., 2023; El Ouali et al., 2024).

Berdasarkan masalah tersebut maka terdapat perbedaan performa fast-twitch muscle antara genotipe ACTN3 R577X pada atlet basket dan futsal Fakultas Kedokteran Universitas Swadaya Gunung Jati, ketika performa diukur melalui sprint 30 meter, vertical jump, 1RM leg extension, 1RM lying leg curl, 1RM hip abduction, dan 1RM hip adduction (Setyawan, 2022; Broos et al., 2016). Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi distribusi alel dan genotipe ACTN3, mendeskripsikan performa fast-twitch muscle pada keenam tes tersebut, serta menganalisis perbandingan performa berdasarkan genotipe yang ditemukan (Agustina et al., 2016; El Ouali et al., 2024). Secara ilmiah, hasil penelitian diharapkan memberi data awal tentang karakteristik genetik dan fenotipik atlet kampus; secara praktis, hasilnya dapat menjadi landasan untuk penelitian lanjutan mengenai personalisasi latihan dan konseling genetik yang menempatkan informasi ACTN3 sebagai faktor tambahan, bukan determinan tunggal performa (Susanto et al., 2023; Norman et al., 2014).

Metode

Penelitian ini merupakan studi observasional analitik dengan desain cross-sectional dalam ruang lingkup kedokteran olahraga, fisiologi, genetika, dan biologi molekuler. Desain potong lintang digunakan karena genotipe ACTN3 sebagai variabel bebas dan performa fast-twitch muscle sebagai variabel terikat diobservasi pada periode penelitian yang sama. Penelitian berlangsung April–Juli 2025. Pengambilan sampel biologis dan pemeriksaan genetik dilakukan di Laboratorium Genetika Fakultas Kedokteran Universitas Swadaya Gunung Jati (FK UGJ), tes 1RM dilaksanakan di Moove Gym, sedangkan sprint 30 meter dan vertical jump dilakukan di Cirebon Sport Center.

Populasi target adalah atlet basket dan futsal di Kota Cirebon, sedangkan populasi terjangkau adalah atlet basket dan futsal FK UGJ. Sampel penelitian mencakup seluruh atlet yang memenuhi kriteria selama periode penelitian dengan teknik non-probability total sampling. Kriteria inklusi adalah atlet basket atau futsal FK UGJ yang bersedia mengikuti penelitian dan menandatangani informed consent; kriteria eksklusi adalah atlet yang sedang sakit pada saat

pemeriksaan. Total 26 atlet laki-laki usia 19–23 tahun masuk dalam analisis. Sebelum pengujian performa, dilakukan skrining tinggi badan, berat badan, dan indeks massa tubuh (IMT) untuk menggambarkan karakteristik subjek dan meminimalkan bias antropometrik yang menonjol.

Variabel bebas adalah genotipe ACTN3 rs1815739 (R577X), sedangkan variabel terikat adalah performa fast-twitch muscle yang dioperasikan sebagai kecepatan sprint 30 meter (m/s), tinggi vertical jump (cm), serta beban maksimum 1RM (kg) untuk leg extension, lying leg curl, hip abduction, dan hip adduction. Data yang digunakan merupakan data primer dari pengukuran fisik dan bahan biologis darah vena. Setiap subjek mendapatkan penjelasan mengenai tujuan, manfaat, prosedur, kerahasiaan data, serta hak untuk mengikuti penelitian secara sukarela sebelum persetujuan tertulis diperoleh.

Sampel darah vena sebanyak 3–5 mL diambil ke dalam tabung EDTA. DNA diekstraksi menggunakan metode spin column dengan TianGen DNA/RNA Extraction Kit. Amplifikasi target pada ekson 15 ACTN3 dilakukan dengan PCR menggunakan primer forward 5'-CTGTTGCCTGTGGTAAGTGGG-3' dan reverse 5'-TGGTCACAGTATGCAGGAGGG-3'. Kondisi PCR terdiri atas denaturasi awal 94°C selama 3 menit, dilanjutkan 32 siklus 94°C selama 45 detik, annealing 57,7°C selama 45 detik, elongasi 72°C selama 60 detik, dan final elongation 72°C selama 5 menit. Produk PCR kemudian direstriksi dengan enzim DdeI pada 37°C selama 30 menit dan divisualisasikan dengan elektroforesis gel agarosa. Genotipe RR diidentifikasi dari fragmen 205 dan 86 bp, XX dari fragmen 108, 97, dan 86 bp, sedangkan RX dari fragmen 205, 108, 97, dan 86 bp.

Penilaian performa dimulai dengan pemanasan 10–15 menit sebelum sprint. Pada sprint 30 meter, atlet memulai dari posisi siap di belakang garis start dan berlari secepat mungkin sampai garis finish; waktu tempuh dikonversi menjadi kecepatan dalam m/s. Pada vertical jump, atlet berdiri di samping alat ukur, mencatat reach height, lalu melakukan lompatan maksimal tanpa langkah awalan; tinggi lompatan dihitung sebagai selisih antara titik tertinggi lompatan dan reach height. Pengukuran kekuatan maksimal dilakukan dengan 1RM menggunakan mesin gym pada leg extension, lying leg curl, hip abduction, dan hip adduction. Beban dinaikkan bertahap sampai atlet hanya mampu menyelesaikan satu repetisi penuh dengan teknik benar; jeda antarpercobaan 1–2 menit, dan beban tertinggi yang berhasil diangkat dicatat sebagai 1RM.

Analisis data dilakukan secara komputerisasi melalui analisis univariat dan bivariat. Analisis univariat digunakan untuk menyajikan distribusi frekuensi genotipe dan alel, karakteristik subjek, serta nilai deskriptif performa. Normalitas data setiap kelompok dinilai dengan Shapiro–Wilk karena ukuran sampel kurang dari 50. Seluruh parameter berdistribusi normal pada kedua kelompok kecuali 1RM leg extension pada kelompok RX ($p=0,020$), sehingga sesuai analisis pada skripsi, perbandingan antargenotipe dilakukan menggunakan uji nonparametrik Kruskal–Wallis

dengan derajat kemaknaan $p < 0,05$. Karena genotipe RR tidak ditemukan, analisis komparatif terbatas pada kelompok RX dan XX.

Penelitian telah memperoleh persetujuan etik dari Komisi Etik Fakultas Kedokteran Universitas Swadaya Gunung Jati dengan nomor 22/EC/FKUGJ/II/2025. Pelaksanaan penelitian dimulai setelah ethical clearance diterbitkan dan disertai izin penggunaan laboratorium FK UGJ. Kerahasiaan identitas subjek dijaga selama pengambilan, pemeriksaan, analisis, dan pelaporan data.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini melibatkan 26 atlet laki-laki Fakultas Kedokteran Universitas Swadaya Gunung Jati yang berusia 19-23 tahun. Hasil penelitian disajikan secara terpadu dengan pembahasan agar karakteristik subjek, distribusi polimorfisme gen ACTN3 R577X, gambaran performa fast-twitch muscle, dan perbandingan performa berdasarkan genotipe dapat langsung diinterpretasikan dalam konteks fisiologi olahraga dan genetika.

Tabel 1. Karakteristik Subjek Penelitian

Karakteristik	Kategori	n	%
Cabang olahraga	Basket	12	46,2
Cabang olahraga	Futsal	14	53,8
Usia	19 tahun	5	19,2
Usia	20 tahun	4	15,4
Usia	21 tahun	6	23,1
Usia	22 tahun	8	30,8
Usia	23 tahun	3	11,5

Indeks massa tubuh	Normal	24	92,3
Indeks massa tubuh	Overweight	2	7,7

Berdasarkan Tabel 1, subjek penelitian didominasi oleh atlet futsal sebanyak 14 orang (53,8%), sedangkan atlet basket sebanyak 12 orang (46,2%). Kelompok usia terbanyak adalah 22 tahun, yaitu 8 atlet (30,8%), diikuti usia 21 tahun sebanyak 6 atlet (23,1%). Sebagian besar subjek memiliki indeks massa tubuh normal, yaitu 24 atlet (92,3%), sedangkan 2 atlet (7,7%) termasuk kategori overweight. Gambaran tersebut menunjukkan bahwa populasi penelitian relatif homogen pada rentang usia dewasa muda dan sebagian besar memiliki IMT normal.

Usia dan komposisi tubuh merupakan faktor yang berhubungan dengan karakteristik performa fisik. Serabut otot tipe II berperan pada aktivitas eksplosif karena mampu menghasilkan gaya dan kecepatan kontraksi yang tinggi dalam waktu singkat (Sherwood, 2016). Pada basket dan futsal, kemampuan tersebut dibutuhkan untuk akselerasi, lompatan, perubahan arah, dan gerakan berintensitas tinggi. Asković et al. (2021) menekankan pentingnya explosive power pada pemain basket, sedangkan Iodice et al. (2020) menunjukkan bahwa kapasitas kontraktile dan produksi power merupakan komponen penting pada pemain futsal.

Tabel 2. Distribusi alel dan genotipe ACTN3 R577X

Variabel	Kategori	Frekuensi	Persentase (%)
Alel	R	14	26,9
Alel	X	38	73,1
Genotipe	RR	0	0
Genotipe	RX	14	53,8
Genotipe	XX	12	46,2

Catatan: persentase alel dihitung dari jumlah alel (R=14/52; X=38/52).

Tabel 2 menunjukkan bahwa genotipe RX ditemukan pada 14 atlet (53,8%) dan genotipe XX pada 12 atlet (46,2%), sedangkan genotipe RR tidak ditemukan. Dari total 52 alel, terdapat 14 alel R (26,9%) dan 38 alel X (73,1%), sehingga alel X merupakan alel yang lebih dominan pada populasi penelitian. Hasil elektroforesis pada skripsi menunjukkan

pola fragmen RX pada 205, 108, 97, dan 86 bp, sedangkan XX menunjukkan fragmen 108, 97, dan 86 bp.

Gen ACTN3 mengkode protein alpha-actinin-3 yang terutama diekspresikan pada serabut otot tipe II. Polimorfisme R577X menghasilkan stop codon pada posisi 577 sehingga individu dengan genotipe XX tidak mengekspresikan alpha-actinin-3, sedangkan individu RR dan RX masih memiliki alel R yang mendukung ekspresi protein tersebut (Broos et al., 2016; Norman et al., 2014). Secara fisiologis, alpha-actinin-3 berkaitan dengan karakteristik kontraksi cepat dan produksi gaya yang tinggi, sehingga variasi ACTN3 sering dipelajari dalam kaitannya dengan performa sprint dan power.

Distribusi genotipe pada penelitian ini berbeda dengan beberapa populasi atlet lain. Eynon et al. (2012) melaporkan representasi RR dan RX yang lebih tinggi pada atlet elit Eropa dengan karakteristik sprint dan power, sedangkan Abián-Vicén et al. (2023) menemukan proporsi RR yang tinggi pada pemain bulu tangkis elit. Yang et al. (2023) juga menunjukkan bahwa distribusi ACTN3 pada pemain sepak bola muda dapat berbeda sesuai karakteristik populasi. Variasi tersebut menunjukkan bahwa distribusi genotipe ACTN3 tidak seragam pada seluruh kelompok atlet dan perlu dipahami sesuai konteks populasi yang diteliti.

Tabel 3. Performa fast-twitch muscle seluruh subjek

Tes fisik	Minimum	Maksimum	Mean $\pm$ SD
Sprint test (m/s)	6,86	7,67	7,34 $\pm$ 0,22
Vertical jump (cm)	39,7	53,1	46,39 $\pm$ 3,49
1RM leg extension (kg)	50	80	68,27 $\pm$ 7,60
1RM lying leg curl (kg)	50	70	61,73 $\pm$ 5,99
1RM hip abduction (kg)	50	75	63,65 $\pm$ 6,09
1RM hip adduction (kg)	50	85	65,58 $\pm$ 7,78

Berdasarkan Tabel 3, rerata kecepatan sprint seluruh atlet adalah 7,34 $\pm$ 0,22 m/s dan rerata vertical jump 46,39 $\pm$ 3,49 cm. Pada pemeriksaan kekuatan maksimal, rerata 1RM tertinggi terdapat pada leg extension sebesar 68,27 $\pm$ 7,60 kg, diikuti hip adduction 65,58 $\pm$ 7,78 kg, hip abduction 63,65 $\pm$ 6,09 kg, dan lying leg curl 61,73 $\pm$ 5,99 kg.

Parameter yang digunakan menggambarkan beberapa komponen utama performa fast-twitch muscle. Sprint 30 meter menilai kecepatan dan kemampuan akselerasi, vertical jump menggambarkan daya ledak ekstremitas bawah, sedangkan 1RM menggambarkan kekuatan maksimal otot dalam satu kontraksi penuh (Setyawan, 2022). Serabut tipe II memiliki kemampuan menghasilkan gaya dengan cepat dan berperan dominan dalam aktivitas berintensitas tinggi dan berdurasi singkat, sehingga ketiga jenis pemeriksaan tersebut relevan untuk menggambarkan performa eksplosif atlet basket dan futsal (Sherwood, 2016).

Tabel 4. Perbandingan performa fast-twitch muscle berdasarkan genotipe ACTN3

Tes fisik	RX Mean $\pm$ SD	XX Mean $\pm$ SD	p
Sprint test (m/s)	7,41 $\pm$ 0,24	7,26 $\pm$ 0,18	0,068
Vertical jump (cm)	47,58 $\pm$ 3,64	45,00 $\pm$ 2,85	0,054
1RM leg extension (kg)	70,00 $\pm$ 7,33	66,25 $\pm$ 7,72	0,182
1RM lying leg curl (kg)	62,86 $\pm$ 5,78	60,46 $\pm$ 6,20	0,266
1RM hip abduction (kg)	65,36 $\pm$ 5,35	61,67 $\pm$ 5,77	0,115
1RM hip adduction (kg)	67,50 $\pm$ 8,93	63,33 $\pm$ 5,77	0,248

Keterangan: uji hipotesis menggunakan Kruskal-Wallis; $p < 0,05$ dianggap bermakna.

Tabel 4 menunjukkan pola yang konsisten, yaitu kelompok RX memiliki rerata performa lebih tinggi dibandingkan kelompok XX pada seluruh tes yang dilakukan. Rerata sprint kelompok RX adalah 7,41 m/s dibandingkan 7,26 m/s pada XX. Rerata vertical jump kelompok RX mencapai 47,58 cm dan kelompok XX 45,00 cm. Pola yang sama terlihat pada 1RM leg extension, lying leg curl, hip abduction, dan hip adduction. Meskipun seluruh rerata mengarah pada performa RX yang lebih tinggi, perbedaan antara kedua genotipe tidak menunjukkan kemaknaan statistik pada penelitian ini.

Kecenderungan tersebut dapat dijelaskan melalui fungsi biologis ACTN3. Individu dengan genotipe RX masih memiliki satu alel R yang memungkinkan ekspresi alpha-actinin-3, sedangkan individu XX mengalami defisiensi protein tersebut. Alpha-actinin-3 terutama terdapat pada serabut tipe II yang menghasilkan kontraksi cepat dan kuat. Broos et al. (2016) menunjukkan hubungan ACTN3 dengan karakteristik kecepatan pada serabut otot manusia, sedangkan Norman et al. (2014) menunjukkan bahwa genotipe ACTN3 dapat memodulasi respons otot rangka terhadap latihan. Dengan demikian, arah perbedaan

rerata yang ditemukan mempunyai kesesuaian dengan mekanisme fisiologis yang mendasari fungsi ACTN3.

Pada komponen sprint, rerata kecepatan kelompok RX lebih tinggi daripada kelompok XX. Sprint merupakan aktivitas eksplosif yang membutuhkan pembentukan gaya secara cepat pada fase akselerasi dan sangat bergantung pada koordinasi neuromuskular serta kemampuan serabut otot tipe II. Namun, kecepatan sprint juga dipengaruhi oleh teknik berlari, kekuatan relatif, komposisi tubuh, dan adaptasi latihan. Hal ini dapat menjelaskan mengapa variasi ACTN3 tidak selalu menghasilkan perbedaan kecepatan yang bermakna pada setiap populasi. Agustina et al. (2016) tidak menemukan hubungan bermakna antara polimorfisme ACTN3 dan performa otot secara keseluruhan pada atlet sepak bola Universitas Jenderal Soedirman, sedangkan Candrawati et al. (2017) tidak menemukan hubungan yang bermakna dengan kecepatan dan kelincahan.

Pada vertical jump, kelompok RX juga memiliki rerata yang lebih tinggi dibandingkan XX. Vertical jump merupakan indikator daya ledak ekstremitas bawah karena menilai kemampuan menghasilkan gaya besar dalam waktu singkat. Asković et al. (2021) menjelaskan bahwa explosive power merupakan komponen penting dalam performa pemain basket, terutama pada aktivitas melompat, akselerasi, dan perubahan arah. Candrawati et al. (2017) menemukan hubungan ACTN3 dengan daya ledak, sehingga kecenderungan vertical jump yang lebih tinggi pada RX dalam penelitian ini memiliki arah yang sesuai dengan fungsi serabut otot tipe II.

Pada pemeriksaan 1RM, kelompok RX juga menunjukkan rerata lebih tinggi pada leg extension, lying leg curl, hip abduction, dan hip adduction. Pemeriksaan tersebut menggambarkan kekuatan maksimal kelompok otot ekstremitas bawah yang berperan dalam sprint, lompatan, akselerasi, deselerasi, stabilitas pelvis, serta perubahan arah. Kekuatan maksimal tidak hanya ditentukan oleh komposisi serabut otot, tetapi juga oleh massa otot, rekrutmen unit motorik, koordinasi neuromuskular, dan adaptasi latihan. Wilson et al. (2012) menjelaskan bahwa latihan kekuatan dan power dapat memengaruhi karakteristik serabut otot, sedangkan Bogdanis et al. (2018) menunjukkan adanya perubahan performa dan serabut otot setelah latihan eksentrik cepat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini sejalan dengan Agustina et al. (2016), yang tidak menemukan hubungan bermakna antara variasi ACTN3 dan performa otot secara keseluruhan. Candrawati et al. (2017) menunjukkan bahwa hubungan ACTN3 dapat berbeda menurut komponen performa, yaitu ditemukan pada daya ledak tetapi tidak pada

kecepatan dan kelincahan. Di sisi lain, Eynon et al. (2012) melaporkan bahwa genotipe RR dan RX lebih banyak ditemukan pada atlet elit Eropa dengan karakteristik sprint dan power, sedangkan Melián Ortiz et al. (2021) menunjukkan hubungan ACTN3 dengan karakteristik kerja otot dan peningkatan kekuatan eksplosif. Meta-analisis El Ouali et al. (2024) juga menunjukkan adanya perbedaan distribusi genotipe ACTN3 R577X pada kelompok atlet power dan endurance.

Perbedaan hasil antarpelitian menunjukkan bahwa performa atlet merupakan fenotipe yang kompleks dan tidak ditentukan oleh satu variasi gen. Faktor latihan, status nutrisi, kualitas tidur, komposisi tubuh, koordinasi neuromuskular, serta kondisi fisiologis turut membentuk performa aktual. Lim et al. (2021) menunjukkan bahwa kualitas tidur berhubungan dengan performa atlet, sedangkan Tan et al. (2022) menunjukkan bahwa faktor nutrisi dapat memengaruhi performa latihan eksplosif. Oleh karena itu, ACTN3 lebih tepat dipahami sebagai salah satu faktor biologis yang berhubungan dengan karakteristik otot cepat, bukan sebagai determinan tunggal performa.

Berdasarkan keseluruhan hasil, genotipe RX menunjukkan kecenderungan performa fast-twitch muscle yang lebih tinggi dibandingkan XX pada sprint, vertical jump, dan seluruh pemeriksaan 1RM, tetapi perbedaan tersebut belum bermakna secara statistik. Pola tersebut tetap sesuai dengan dasar biologis alpha-actinin-3 pada serat otot tipe II dan memperlihatkan bahwa hubungan ACTN3 dengan performa eksplosif perlu dipahami dalam interaksi dengan berbagai faktor fisiologis dan latihan.

Kesimpulan

Pada 26 atlet laki-laki basket dan futsal FK UGJ, genotipe ACTN3 yang ditemukan adalah RX sebanyak 14 orang (53,8%) dan XX sebanyak 12 orang (46,2%), tanpa RR; frekuensi alel R dan X masing-masing 26,9% dan 73,1%. Kelompok RX memiliki rerata lebih tinggi pada sprint, vertical jump, dan keempat tes 1RM, tetapi seluruh perbedaan tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian, tujuan pemetaan genotipe dan performa telah tercapai, sedangkan hipotesis perbedaan performa menurut genotipe belum didukung pada sampel ini. Kontribusi utama berupa data lokal yang menggabungkan pemeriksaan ACTN3 dengan enam indikator fungsional. Temuan belum mendukung penggunaan genotipe sebagai penentu tunggal seleksi atau pembinaan atlet, dan memerlukan pengujian lebih lanjut dengan sampel lebih besar serta pengendalian faktor latihan dan pengukuran.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Swadaya Gunung Jati atas dukungan, bimbingan, dan kontribusi yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Dukungan tersebut sangat berarti dalam membantu kelancaran dan keberhasilan penyelesaian penelitian ini.

Referensi

- Abián-Vicén, J., Abián, P., Bravo-Sánchez, A., Piñas-Bonilla, I., Lara, B., & Del Coso, J. (2023). Genotype distribution of the ACTN3 p.R577X polymorphism in elite badminton players: A preliminary study. *Genes*, 14(1), 50. <https://doi.org/10.3390/genes14010050>
- Aksović, N., Bjelica, B., Milanović, F., Milanovic, L., & Jovanović, N. (2021). Development of explosive power in basketball players. *Turkish Journal of Kinesiology*, 7(1), 44–52. <https://doi.org/10.31459/turkjin.861920>
- Broos, S., Malisoux, L., Theisen, D., van Thienen, R., Ramaekers, M., Jamart, C., Deldicque, L., Thomis, M. A., & Francaux, M. (2016). Evidence for ACTN3 as a speed gene in isolated human muscle fibers. *PLOS ONE*, 11(3), e0150594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150594>
- Candrawati, S., Gumilas, N. S. A., Kusuma, M. N. H., Adiningtyas, P. E., Sucipto, M. C. R., & Rahmah, S. S. A. (2017). Hubungan polimorfisme gen ACTN3 dengan kelincahan, daya ledak, dan kecepatan. *Jurnal Kedokteran Brawijaya*, 29(4), 329–334. <https://jkb.ub.ac.id/index.php/jkb/article/view/1852>
- El Ouali, E. M., Barthelemy, B., Del Coso, J., Hackney, A. C., Laher, I., Govindasamy, K., Mesfioui, A., Granacher, U., & Zouhal, H. (2024). A systematic review and meta-analysis of the association between ACTN3 R577X genotypes and performance in endurance versus power athletes and non-athletes. *Sports Medicine - Open*, 10, 37. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00711-x>
- Eynon, N., Ruiz, J. R., Femia, P., Pushkarev, V. P., Cieszczyk, P., Maciejewska-Karlowska, A., Sawczuk, M., Dyatlov, D. A., Lekontsev, E. V., Kulikov, L. M., Birk, R., Bishop, D. J., & Lucia, A. (2012). The ACTN3 R577X polymorphism across three groups of elite male European athletes. *PLOS ONE*, 7(8), e43132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043132>
- Iodice, P., Trecroci, A., Dian, D., Proietti, G., Alberti, G., & Formenti, D. (2020). Slow-speed resistance training increases skeletal muscle contractile properties and power production capacity in elite futsal players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 8. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00008>
- Lim, S.-T., Kim, D.-Y., Kwon, H.-T., & Lee, E. (2021). Sleep quality and athletic performance according to chronotype. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13, 2. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00228-2>
- Melián Ortiz, A., Laguarda-Val, S., & Varillas-Delgado, D. (2021). Muscle work and its relationship with ACE and ACTN3 polymorphisms are associated with the improvement of explosive strength. *Genes*, 12(8), 1177. <https://doi.org/10.3390/genes12081177>
- Norman, B., Esbjörnsson, M., Rundqvist, H., Österlund, T., Glenmark, B., & Jansson, E. (2014). ACTN3 genotype and modulation of skeletal muscle response to exercise in human subjects. *Journal of Applied Physiology*, 116(9), 1197–1203. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00557.2013>
- Rodas, G., Moreno-Pérez, V., Del Coso, J., Florit, D., Osaba, L., & Lucia, A. (2021). Alpha-actinin-3 deficiency might affect recovery from non-contact muscle injuries: Preliminary findings in a top-level soccer team. *Genes*, 12(5), 769. <https://doi.org/10.3390/genes12050769>
- Setyawan, R. (2022). *Mengenal pelatihan kondisi fisik level dasar*. Haura Utama.
- Wilson, J. M., Loenneke, J. P., Jo, E., Wilson, G. J., Zourdos, M. C., & Kim, J.-S. (2012). The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1724–1729. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234eb6f>