

Hubungan Morfologi dan Kekuatan *Quadriceps Femoris* dengan *Patellofemoral Pain Syndrome* pada Olahragawan

Ni Putu Diah Asyana Putri¹, I Putu Gde Surya Adhitya^{2*}, I Gede Eka Juli Prasana³,
Govinda Vittala⁴

¹Program Studi Sarjana Fisioterapi, Fakultas Kedokteran Universitas Udayana

^{2,3,4}Departemen Fisioterapi, Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana

*Corresponding author: surya_adhitya@unud.ac.id

Abstrak: *Patellofemoral Pain Syndrome* (PFPS) merupakan kondisi klinis yang ditandai dengan nyeri lutut anterior yang umum terjadi pada olahragawan. Penyebab terjadinya PFPS dikarenakan banyak faktor, salah satunya akibat kelemahan otot *quadriceps femoris*. Kelemahan dari otot *quadriceps femoris* spesifiknya yaitu atrofi dari otot *vastus medialis oblique* (VMO) juga menyebabkan lutut tidak stabil, ini biasanya memiliki onset yang lebih besar terhadap kejadian cedera yang biasa dialami selama berolahraga. Tujuan dari artikel ini untuk mengetahui hubungan morfologi dengan kekuatan otot *quadriceps femoris* dan PFPS pada olahragawan. Penelitian menggunakan desain *cross-sectional* dengan 74 olahragawan usia 16–22 tahun yang dipilih secara *purposive sampling*. Morfologi otot diukur adalah *cross-sectional area* (CSA) VMO menggunakan ultrasonografi muskuloskeletal, kekuatan otot diukur dengan *hand-held dynamometer*, PFPS diidentifikasi melalui Kuesioner Kujala. Analisis statistik menggunakan uji bivariat *Spearman's rho*. Ditemukan hubungan positif yang signifikan antara morfologi CSA VMO dengan skor Kujala ($r = 0,24$; $p = 0,040$), serta antara morfologi CSA VMO dengan kekuatan otot *quadriceps femoris* ($r = 0,30$; $p = 0,011$). Namun, tidak ditemukan hubungan yang signifikan antara kekuatan otot *quadriceps femoris* dengan skor Kujala ($r = 0,22$; $p = 0,061$). Morfologi otot VMO berhubungan signifikan dengan kejadian PFPS dan kekuatan otot *quadriceps femoris* pada olahragawan. Temuan ini mendukung penggunaan pemantauan simetri CSA VMO sebagai bagian dari skrining awal risiko PFPS, sekaligus menegaskan perlunya pendekatan multisekmen dalam program pencegahan PFPS pada olahragawan.

Kata Kunci: morfologi VMO, kekuatan *quadriceps femoris*, *patellofemoral pain syndrome*, olahragawan.

Abstract: *Patellofemoral Pain Syndrome* is a clinical condition characterized by anterior knee pain that commonly occurs in athletes. The development of PFPS is multifactorial, one of which is weakness of the *quadriceps femoris* muscle. Specifically, atrophy of the *vastus medialis oblique* (VMO) muscle may also contribute to knee instability, which is associated with a greater risk of sports-related injuries. This study aimed to determine the relationship between *quadriceps femoris* muscle morphology, muscle strength, and PFPS in athletes. This study employed a *cross-sectional* design involving 74 athletes aged 16–22 years selected through *purposive sampling*. Muscle morphology was assessed by measuring the *cross-sectional area* (CSA) of the VMO using musculoskeletal ultrasonography. Muscle strength was measured using a *hand-held dynamometer*, while PFPS was identified using the Kujala Questionnaire. Statistical analysis was performed using *Spearman's rho* bivariate test. The results demonstrated a significant positive correlation between VMO CSA morphology and Kujala scores ($r = 0.24$; $p = 0.040$), as well as between VMO CSA morphology and *quadriceps femoris* muscle strength ($r = 0.30$; $p = 0.011$). However, no significant correlation was found between *quadriceps femoris* muscle strength and Kujala scores ($r = 0.22$; $p = 0.061$). The morphology of the VMO muscle was significantly associated with the incidence of PFPS and *quadriceps femoris* muscle strength in athletes. These findings support the use of VMO CSA symmetry monitoring as part of early PFPS risk screening and emphasize the importance of a multisegmental approach in PFPS prevention programs for athletes.

Keywords: VMO morphology, *quadriceps femoris* strength, *patellofemoral pain syndrome*, athletes.

Pendahuluan

Olahragawan merupakan kelompok individu dengan tingkat aktivitas fisik yang tinggi, yang membutuhkan perhatian khusus terkait kesehatan, beban latihan, serta risiko cedera olahraga (WHO, 2020). Pada olahraga tertentu seperti sepak bola, futsal, atau basket, gerakan dinamis yang umum terjadi adalah pendaratan satu kaki setelah lompatan atau selama perubahan arah yang cepat sehingga diperlukan stabilitas dan kekuatan otot tungkai yang baik. Adanya penggunaan berlebih, pembebanan yang besar dan kuat, serta stabilitas sendi yang buruk pada tungkai bawah dapat mengakibatkan rasa nyeri dan cedera yang dapat mengganggu performa dan aktivitas olahraga (Bessette & Saluan, 2016). Lebih dari 50% cedera yang dialami olahragawan terjadi pada ekstremitas bawah, salah satunya pada sendi lutut (Setyaningrum, 2019). *Patellofemoral* merupakan salah satu persendian pada lutut yang menghubungkan tulang *femur* dan *patella*. Sendi *patellofemoral* terdiri dari *patella* dan *trochlea* dari tulang paha yang penting dalam pergerakan sendi lutut. Sendi patellofemoral distabilkan oleh beberapa komponen jaringan seperti otot, tendon, dan ligamen (David Y. Gaitonde et al., 2019). Ketidakstabilan *patellofemoral* ini biasanya memiliki onset yang lebih besar terhadap kejadian cedera yang biasa dialami selama berolahraga (Bessette & Saluan, 2016).

Patellofemoral pain syndrome (PFPS) merupakan salah satu cedera pada lutut akibat penggunaan berlebih dan beban yang besar pada lutut. PFPS atau biasa disebut *anterior knee pain* (AKP) atau *runner's knee* merupakan kondisi cedera yang paling umum terjadi dalam olahraga. Dilaporkan bahwa hampir 25%–30% dari semua cedera yang terlihat di klinik kedokteran olahraga dan hingga 40% kunjungan klinis untuk masalah lutut dikaitkan dengan PFPS. Gejala PFPS dapat menyebabkan keterbatasan olahraga dan aktivitas fisik pada 74% pasien, bahkan sampai menyebabkan olahragawan berhenti olahraga (Halabchi et al., 2017). PFPS umumnya ditandai dengan rasa sakit di area *peripatellar/retropatellar* yang memburuk dengan setidaknya satu aktivitas yang membebani sendi *patellofemoral* selama menahan beban pada lutut yang ditekuk (misalnya, jongkok, menaiki tangga, *jogging*/berlari dan melompat/melompat). Penyebab utama PFPS mungkin adalah trauma patela, namun lebih sering dikaitkan dengan kombinasi beberapa faktor (penyebab multifaktorial), termasuk penggunaan berlebihan dan ketegangan berlebihan pada sendi *patellofemoral*, penyimpangan anatomi atau biomekanik, kelemahan otot, atau ketidakseimbangan otot (Moros et al., 2025).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penurunan kekuatan otot *quadriceps femoris* dikaitkan dengan risiko PFPS yang jauh lebih tinggi, karena dapat menyebabkan ketidakstabilan dari *patella* (Alsaleh et al., 2021; David Y. Gaitonde et al., 2019). Individu dengan PFPS memiliki kekuatan otot *quadriceps femoris* yang lebih kecil, khususnya atrofi pada otot *vastus medialis*

oblique (VMO) dibandingkan dengan individu sehat (Pompeo et al., 2021). Kekuatan otot juga berkaitan dengan morfologi otot seperti *cross-sectional area* (CSA). Penelitian menunjukkan bahwa volume dan CSA otot VMO pada olahragawan jauh lebih besar daripada populasi non-olahragawan yang menjadi prediktor yang kuat dari kekuatan otot untuk menghasilkan torsi (Lanferdini et al., 2023; Tate et al., 2006). Atrofi atau kelemahan otot VMO dapat menyebabkan *maltracking patella* yang meningkatkan tekanan pada sendi *patellofemoral*, sehingga dapat menyebabkan PFPS. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa individu dengan PFPS memiliki CSA VMO yang lebih kecil dibandingkan individu yang sehat (Jan et al., 2009). CSA VMO juga berkurang secara signifikan (17,2% hingga 36,7%) pada lutut yang mengalami nyeri dibandingkan lutut yang sehat (El Sawy et al., 2021).

Berdasarkan latar belakang ini, banyak studi yang sudah meneliti mengenai morfologi dengan kekuatan otot *quadriceps femoris* dan PFPS, namun masih terbatas di Indonesia. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengangkat topik ini dengan judul penelitian "Hubungan Morfologi dengan Kekuatan Otot *Quadriceps Femoris* dan *Patellofemoral Pain Syndrome* pada Olahragawan". Penelitian ini diharapkan dapat menjadi data terbaru terkait penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya serta menjadi referensi pada bidang kesehatan, olahraga, dan masyarakat luas sehingga dapat diketahui upaya untuk program pencegahan dan rehabilitasi PFPS serta untuk menjaga dan meningkatkan kekuatan otot pada olahragawan.

Metode

Penelitian ini menggunakan desain studi *cross-sectional* atau potong lintang untuk menganalisis hubungan morfologi dengan kekuatan otot *quadriceps femoris* dan PFPS pada olahragawan. Penelitian dilaksanakan di Ruang Skill Lab Lantai 3 Gedung CVU, Fakultas Kedokteran Universitas Udayana pada periode Maret hingga April 2026. Populasi penelitian adalah olahragawan yang tergabung dalam klub sepak bola, futsal, bulutangkis, voli, dan cabang olahraga lainnya yang berdomisili di wilayah Denpasar, Bali. Sampel dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Kriteria inklusi meliputi individu berusia 16–22 tahun yang rutin berolahraga minimal dua kali per minggu dan bersedia berpartisipasi dalam penelitian. Adapun kriteria eksklusi mencakup individu dengan riwayat operasi atau cedera serius pada lutut serta individu yang tidak mengisi kuesioner secara lengkap.

Besar sampel dihitung menggunakan aplikasi G*Power dengan hasil jumlah sampel minimal sebanyak 74 orang. Morfologi otot diukur melalui CSA VMO menggunakan ultrasonografi muskuloskeletal. Kekuatan otot *quadriceps femoris* diukur menggunakan *push/pull hand-held dynamometer force gauge*. PFPS diidentifikasi menggunakan Kuesioner Kujala yang terdiri dari 13 item penilaian fungsional dengan skor maksimal 100. Data yang sudah dikumpulkan kemudian

dianalisis secara deskriptif dan bivariat. Analisis deskriptif pada masing-masing variabel dilakukan untuk mendeskripsikan variabel karakteristik secara umum meliputi variabel usia, jenis kelamin, pendidikan, cabang olahraga, indeks masa tubuh, morfologi CSA VMO, kekuatan otot *quadriceps femoris*, serta PFPS pada sampel, sedangkan analisis bivariat dilakukan untuk mengetahui hubungan antara morfologi dengan kekuatan otot *quadriceps femoris* dan PFPS. Analisis statistik pada penelitian ini menggunakan uji non-parametrik *spearman rho*. Komisi Etik Penelitian (KEP) Fakultas Kedokteran Universitas Udayana telah menyatakan bahwa penelitian ini laik etik dengan No: 0718/UN14.2.2.VII.14/LT/2026.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Pada penelitian ini yang menjadi subjek penelitian adalah olahragawan yang berada di daerah Denpasar, Bali. Pengambilan subjek penelitian menggunakan teknik *purposive sampling* dan berdasarkan karakteristik tertentu yang telah memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi didapat sebanyak 74 orang.

Analisis Deskriptif

Adapun karakteristik subjek dilihat pada tabel 1. berikut ini:

Tabel 1. Distribusi Data Karakteristik Subjek

Karakteristik	Mean±SD atau n (%)
Usia, tahun	19,1 ± 1,3
Jenis kelamin	
Laki-laki	51 (68,9%)
Perempuan	23 (31,1%)
Pendidikan	
Perguruan Tinggi	70 (94,6%)
SMA	4 (5,4%)
Cabang olahraga	
Level 1	38 (50,4%)
Level 2	23 (31,1%)
Level 3	13 (17,6%)
BMI, kg/m ²	22,6 ± 3,4
Morfologi CSA VMO, mm ²	
Kanan	250,4 ± 65,4
Kiri	224,8 ± 60,5
Kekuatan otot <i>quadriceps</i> , N	
Kanan	245,7 ± 81,7
Kiri	233,6 ± 77,6
Skor Kujala	93,9 ± 5,6
PFPS, ≤ 83	3 (4,1%)
Tidak PFPS, > 83	71 (95,9)

BMI, *body mass* indeks; CSA, *cross-sectional area*; PFPS, *patellofemoral pain syndrome*; SD, standar deviasi; VMO, *vastus medialis oblique*

Subjek penelitian ini adalah olahragawan dengan rerata usia 19,1 ± 1,3 tahun. Berdasarkan jenis kelamin, sebagian besar subjek adalah laki-laki sebanyak 51 orang (68,9%),

sedangkan perempuan berjumlah 23 orang (31,1%). Tingkat pendidikan didominasi oleh olahragawan yang sedang menempuh perguruan tinggi, yaitu sebanyak 70 orang (94,6%), sementara sisanya masih dijenjang SMA sebanyak 4 orang (5,4%). Dilihat dari cabang olahraga, mayoritas subjek berada pada level 1 sebanyak 38 orang (51,4%), diikuti level 2 sebanyak 23 orang (31,1%) dan level 3 sebanyak 13 orang (17,6%). Rerata indeks massa tubuh subjek adalah $22,6 \pm 3,4$ kg/m². Karakteristik morfologi otot menunjukkan nilai CSA VMO lebih besar pada tungkai kanan ($250,4 \pm 65,4$ mm²) dibandingkan kiri ($224,8 \pm 60,5$ mm²). Kekuatan otot *quadriceps femoris* juga cenderung lebih tinggi pada tungkai kanan ($245,7 \pm 81,7$ N) dibandingkan kiri ($233,6 \pm 77,6$ N). Skor Kujala rata-rata subjek adalah $93,9 \pm 5,6$, dengan hanya 3 orang (4,1%) yang memiliki skor PFPS ≤ 83 .

Analisis Bivariat

Analisis bivariat adalah analisis yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara morfologi dengan kekuatan otot *quadriceps femoris* dan PFPS. Uji analisis yang digunakan adalah dengan uji non-parametrik *spearman rho*. Hasil uji analisis dapat dilihat pada tabel 2. berikut:

Tabel 2. Hasil Analisis *Spearman Rho* antara Morfologi Otot dan Kekuatan Otot *Quadriceps* dengan PFPS dan Stabilitas Fungsional

	Morfologi CSA VMO		Kekuatan Otot <i>Quadriceps</i>		Kujala	
	Korelasi	<i>p-value</i>	Korelasi	<i>p-value</i>	Korelasi	<i>p-value</i>
Morfologi CSA VMO	-		0,30	0,011	0,24	0,040
Kekuatan Otot	0,30	0,011	-		0,22	0,061
Kujala	0,24	0,040	0,22	0,061	-	

Analisis *Spearman's rho* pada tabel 2. menunjukkan adanya hubungan positif yang signifikan antara morfologi CSA VMO dengan skor Kujala pada olahragawan yang dibuktikan dengan nilai $p = 0,040$ ($p < 0,05$) serta nilai koefisien korelasi sebesar 0,24 dan bernilai positif menunjukkan terdapat hubungan searah dengan tingkat korelasi yang tergolong lemah karena nilai tersebut berada diantara 0,20–0,399. Pada analisis kekuatan otot *quadriceps femoris* dengan skor Kujala menunjukkan hubungan tersebut tidak signifikan secara statistik dengan nilai $p = 0,061$ ($p > 0,05$) dengan nilai korelasi sebesar 0,22 yang berarti memiliki hubungan yang searah dan tingkat korelasi yang lemah karena nilai tersebut berada diantara 0,20–0,399. Analisis lebih lanjut pada tabel 2. menunjukkan bahwa morfologi CSA VMO dengan kekuatan otot *quadriceps*

memiliki hubungan yang signifikan dengan nilai $p = 0,011$ ($p < 0,05$) dan nilai korelasi sebesar 0,30 artinya memiliki hubungan yang positif yang dengan tingkat korelasi yang lemah karena nilai tersebut berada diantara 0,20–0,399. Adapun hubungan antara skor Kujala dan YBT menunjukkan hubungan yang tidak signifikan secara statistik dengan nilai $p = 0,562$ ($p > 0,05$) serta nilai korelasi sebesar -0,07 yang menunjukkan hubungan berbanding terbalik dengan tingkat korelasi sangat lemah karena nilai korelasi tersebut berada di antara 0,00–0,199.

Pembahasan

Karakteristik Subjek

Penelitian ini melibatkan 74 olahragawan yang berdomisili di wilayah Denpasar dengan rata-rata usia $19,1 \pm 1,3$ tahun sesuai dengan rentang usia produktif yang paling rentan mengalami PFPS akibat tingginya partisipasi dan intensitas aktivitas olahraga pada usia muda (Bessette & Saluan, 2016). Distribusi jenis kelamin didominasi oleh laki-laki (68,9%; $n=51$) dan perempuan (31,1%; $n=23$), yang mencerminkan proporsi umum olahragawan aktif di lingkungan pendidikan tinggi, dengan sebagian besar sampel berasal dari jenjang perguruan tinggi (94,5%; $n=70$). Sampel terbagi atas tiga level berdasarkan karakteristik pola gerak, yaitu level 1 (51,4%; $n=38$) dari cabang olahraga dengan gerakan *pivoting* dan *cutting* tinggi seperti sepak bola dan basket, level 2 (31,1%; $n=23$) dari cabang dengan intensitas *pivoting* moderat seperti bulutangkis, dan level 3 (17,6%; $n=13$) dari cabang dengan pola gerak linier seperti lari. Nilai rata-rata BMI sampel adalah $22,6 \pm 3,4$ kg/m² yang berada dalam kisaran normal menurut standar WHO, sehingga meminimalkan potensi bias dari faktor komposisi tubuh terhadap hubungan antar variabel (Franchi et al., 2017). Rata-rata CSA VMO adalah $247,6 \pm 70,5$ mm² (kanan) dan $224,8 \pm 60,5$ mm² (kiri), dengan nilai kekuatan otot *quadriceps femoris* $245,7 \pm 81,7$ N (kanan) dan $233,6 \pm 77,6$ N (kiri), pola asimetri antara tungkai dominan dan non-dominan ini merupakan hal fisiologis yang telah banyak dilaporkan dalam literatur (El-Ansary et al., 2021; Ruhdorfer et al., 2014). Berdasarkan skor Kujala, sebagian besar sampel tidak termasuk kategori PFPS (95,9%; $n=71$), sementara hanya 4,1% ($n=3$) yang teridentifikasi PFPS dengan skor Kujala < 83 (Kujala et al., 1993).

Hubungan Morfologi CSA VMO dengan Kekuatan Otot *Quadriceps Femoris*

Hasil uji bivariat menunjukkan terdapat hubungan yang signifikan antara morfologi CSA VMO dengan kekuatan otot *quadriceps femoris* ($r = 0,30$; $p = 0,011$), dengan arah korelasi positif yang bermakna bahwa semakin simetris ukuran CSA VMO antara kedua tungkai, semakin simetris juga kekuatan otot *quadriceps femoris* yang dihasilkan. Dasar ilmiah hubungan ini sangat kuat secara biomekanik. Kapasitas produksi gaya suatu otot bergantung pada jumlah sarkomer yang bekerja secara paralel yang secara langsung ditentukan oleh CSA otot tersebut, sehingga semakin besar

CSA VMO, semakin besar kontribusinya terhadap total kekuatan ekstensi lutut maupun stabilisasi *patella* (Castanov et al., 2019; Franchi et al., 2020). Temuan ini mengungkapkan bahwa pengukuran CSA VMO bukan hanya relevan secara struktural, tetapi juga memiliki nilai prediktif fungsional yang nyata. Nilai CSA mencerminkan jumlah total serat otot yang paralel (*parallel fibers*) dan secara langsung berkorelasi positif dengan kapasitas produksi gaya maksimal otot (*maximum force production*), sesuai temuan ini menunjukkan adanya hubungan signifikan positif antara CSA VMO dengan kekuatan *quadriceps femoris*, yang sejalan dengan prinsip fisiologis bahwa luas penampang otot merupakan prediktor utama kapasitas produksi gaya otot. Seperti yang dilaporkan oleh Hunnicutt et al. (2020), adanya korelasi positif yang kuat antara CSA VMO dengan kekuatan ekstensor lutut isometrik pada pasien pasca-ACLR ($r = 0,603$; $p = 0,001$) (Hunnicutt et al., 2020). Temuan ini juga diperkuat oleh Hosseini et al. (2024) yang membuktikan bahwa latihan penguatan selektif VMO mampu meningkatkan CSA VMO hingga 56,7 % dan memperbaiki rasio kekuatan medial-lateral *quadriceps* secara signifikan (Hosseini & Farahmand, 2024). Holmes et al. (2025) yang mengobservasi rasio CSA VMO terhadap paha yang lebih rendah pada pasien dengan instabilitas *patellofemoral* (Holmes et al., 2025). Secara keseluruhan, hasil studi-studi tersebut menegaskan bahwa CSA VMO berperan penting sebagai indikator kekuatan *quadriceps femoris*. Kekuatan korelasi sebesar $r = 0,30$ tergolong dalam kategori lemah hingga sedang, yang berarti CSA VMO memang berkontribusi terhadap kekuatan *quadriceps femoris*, tapi bukan sebagai satu-satunya faktor penentu. Kekuatan otot pada populasi olahragawan sehat tidak semata-mata ditentukan oleh faktor struktural seperti CSA, tetapi juga dipengaruhi secara substansial oleh faktor neuromuskular seperti efisiensi rekrutmen unit motorik, frekuensi aktivasi, sinkronisasi antar-unit motorik, dan kemampuan aktivasi (*voluntary activation/VA*) dari sistem saraf pusat. Norte et al. (2022) dalam tinjauan sistematis menegaskan bahwa pada populasi olahragawan tanpa riwayat cedera serius, variasi kekuatan antar-individu lebih banyak dijelaskan oleh faktor neuromuskular dan koordinasi daripada oleh perbedaan ukuran otot semata. Hal ini berbeda dengan populasi yang sedang dalam proses rehabilitasi pasca cedera atau operasi, atrofi otot sudah sangat nyata sehingga CSA bisa menjadi prediktor yang jauh lebih dominan (Norte et al., 2022). Secara keseluruhan, temuan hubungan yang signifikan ini tetap bernilai secara klinis dan teoritis, karena membuktikan bahwa morfologi struktural VMO memang berkontribusi nyata terhadap kapasitas kekuatan otot *quadriceps femoris* pada populasi olahragawan, sejalan dengan prinsip dasar biomekanik otot. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa penilaian morfologi VMO melalui USG muskuloskeletal memiliki nilai klinis yang nyata sebagai penanda kapasitas kekuatan *quadriceps femoris* pada olahragawan, dan dapat diintegrasikan ke dalam protokol skrining

muskuloskeletal rutin untuk mendukung program pencegahan cedera maupun peningkatan performa.

Hubungan Morfologi CSA VMO dengan PFPS

Hasil analisis bivariat menunjukkan terdapat hubungan yang signifikan antara morfologi CSA VMO dengan skor Kujala dengan nilai $r = 0,24$ dan $p = 0,040$ dengan arah korelasi positif. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin simetris nilai CSA VMO antara kedua tungkai, semakin baik fungsi lutut dan semakin minimal keluhan nyeri PFPS yang dilaporkan oleh olahragawan. Beberapa penelitian lainnya juga telah membuktikan hubungan langsung antara ukuran VMO dan kondisi PFPS. El Sawy et al. (2021) menemukan adanya penurunan CSA VMO sebesar 17,2–36,7 % pada lutut bergejala PFPS yang disertai gangguan fungsi otot (El Sawy et al., 2021). Penelitian oleh Pattyn et al. (2011) menemukan bahwa CSA VMO secara signifikan lebih kecil pada kelompok PFPS dibandingkan kontrol ($16,67 \pm 4,97 \text{ cm}^2$ vs $18,36 \pm 5,25 \text{ cm}^2$; $p = 0,040$), membuktikan untuk pertama kalinya secara objektif bahwa atrofi VMO memang terjadi pada kondisi PFPS (Pattyn et al., 2011). Beit Ner et al. (2025) juga menjelaskan bahwa ketidakseimbangan antara tarikan VMO dan VL akibat CSA VMO yang secara signifikan lebih kecil dapat menjadi lebih bermasalah karena aktivitas olahraga tertentu melibatkan gerakan lutut yang berulang dan beban yang tinggi, sehingga asimetri morfologi VMO dapat terakumulasi menjadi beban mekanik *patellofemoral* yang bermakna dari waktu ke waktu. Kondisi ini dapat berkorelasi dengan manifestasi klinis gangguan *patellofemoral* yang lebih berat (Beit Ner et al., 2025). Dong et al., 2021 memperkuat temuan ini dengan membuktikan bahwa atrofi VMO pada pasien PFPS lebih nyata dibandingkan VL, terutama pada area tepat di border atas patela, yang merupakan titik di mana VMO memberikan tarikan medial paling besar terhadap patela (Dong et al., 2021). Penelitian ini menemukan bahwa ada mekanisme yang menghubungkan asimetri CSA VMO dengan penurunan skor Kujala. Hal tersebut dijelaskan melalui jalur biomekanik *patellofemoral*, dimana VMO merupakan salah satu komponen otot *quadriceps femoris* yang serat-seratnya berjalan secara *oblique* dan memberikan gaya tarikan ke arah medial pada *patella*. Ketika salah satu tungkai memiliki CSA VMO yang lebih kecil dibandingkan tungkai lainnya, tungkai dengan VMO lebih kecil tersebut memiliki kapasitas gaya stabilisasi medial yang lebih rendah. Kondisi ini menciptakan ketidakseimbangan antara tarikan lateral oleh VL dan tarikan medial oleh VMO, yang akhirnya mengarah pada pergeseran patela ke lateral atau lintasan gerak patela yang abnormal (*patellar maltracking*). *Patellar maltracking* ini adalah mekanisme patogenik utama yang mendasari nyeri *patellofemoral* dan gejala PFPS (El Sawy et al., 2021). Namun hubungan tersebut tergolong lemah dengan nilai $r = 0,24$, hal tersebut dikarenakan pada populasi olahragawan sehat, asimetri CSA VMO umumnya tidak terlalu besar sehingga dampaknya terhadap fungsi lutut yang diukur melalui skor Kujala memang hanya

terdeteksi sebagai hubungan yang lemah. Hubungan yang lemah ini juga disebabkan oleh prediktor dari PFPS ini bukan hanya dari CSA VMO. Selain mekanisme patofisiologi, aspek mekanisme inhibisi neuromuskular juga perlu dipertimbangkan pada olahragawan yang mengalami nyeri lutut ringan. Salah satu teori yang banyak dikemukakan adalah bahwa nyeri (*pain*) menyebabkan inhibisi refleks pada otot. Inhibisi ini mengakibatkan otot tidak dapat berkontraksi secara optimal dan jarang digunakan dengan intensitas normal. Akibatnya, terjadi penurunan luas serat otot (*muscle fibre area*) atau bahkan kehilangan sejumlah serat otot (*loss of fibres*). Proses ini pada akhirnya menyebabkan atrofi atau pengecilan otot. Sonnery-Cottet et al. (2022) menjelaskan mekanisme *arthrogenic muscle inhibition* (AMI), yaitu proses inhibisi refleks otot yang mengelilingi sendi lutut akibat adanya nyeri, efusi, atau kerusakan struktur sendi. Pada olahragawan dengan keluhan ringan yang tercermin dari skor Kujala yang sedikit lebih rendah, AMI ringan dapat menurunkan aktivasi volunteer dari VMO sehingga terjadi penurunan pada CSA VMO pada individu dengan PFPS (Sonnery-Cottet et al., 2022). Penelitian ini sebagai bukti bahwa hubungan antara asimetri CSA VMO dan kondisi fungsional lutut memang ada dan nyata secara statistik, namun CSA VMO hanyalah salah satu dari banyak faktor yang berkontribusi terhadap skor Kujala.

Hubungan Kekuatan Otot *Quadriceps Femoris* dengan PFPS

Hasil analisis bivariat antara kekuatan otot *quadriceps femoris* dengan skor Kujala menunjukkan nilai $r = 0,22$ dengan $p = 0,061$. Hal tersebut berarti hubungan ini tidak mencapai signifikansi statistik pada $\alpha = 0,05$, namun nilai p yang sangat mendekati ambang signifikansi dan arah korelasi positif mencerminkan bahwa semakin simetris kekuatan *quadriceps femoris*, semakin baik fungsi dan kenyamanan lutut yang dilaporkan oleh subjek. Studi-studi sebelumnya juga menunjukkan bahwa kekuatan otot *quadriceps femoris* sering kali tidak memiliki hubungan signifikan atau hanya bersifat lemah dengan gejala klinis pada individu dengan PFPS. Sebuah *systematic review* dan meta-analysis tahun 2024 menyimpulkan bahwa kekuatan ekstremitas bawah, termasuk kekuatan *knee extension (quadriceps femoris)*, memiliki asosiasi yang lemah atau bahkan tidak ada dengan nyeri serta hanya korelasi lemah dengan fungsi yang dilaporkan pada pasien PFPS (Kim et al., 2024). Temuan serupa juga dilaporkan pada pelari dengan PFPS, tidak ditemukan perbedaan signifikan dalam kekuatan *quadriceps femoris* isokinetik dibandingkan kelompok sehat (Pan et al., 2026). Pada kasus PFPS jangka panjang, kekuatan *quadriceps femoris* sering kali setara dengan kelompok kontrol sehat, sementara penurunan kekuatan lebih terlihat hanya pada fase akut atau jangka pendek, mengindikasikan bahwa kelemahan *quadriceps femoris* lebih merupakan konsekuensi dari nyeri dan *disuse* daripada faktor penyebab utama (He et al., 2025). Di sisi lain, penelitian Chen et al. (2024) menemukan bahwa pada pria PFPS menunjukkan

penurunan yang signifikan pada kekuatan *hip abduction*, *kekuatan quadriceps femoris*, dan peningkatan yang signifikan dalam rasio *hamstring:quadriceps femoris*, sementara wanita PFPS hanya menunjukkan penurunan yang signifikan pada LSI kekuatan *hip abduction* (Chen et al., 2024). Sebuah penelitian *randomised controlled equivalence trial* membuktikan bahwa latihan kekuatan otot *quadriceps femoris* serta latihan kekuatan otot *hip* selama 12 minggu memberikan peningkatan yang setara dalam gejala dan fungsi untuk pasien dengan PFPS (Hansen et al., 2023). Berbeda dengan studi-studi sebelumnya yang melakukan analisis pada populasi PFPS aktif atau pasca cedera umumnya menemukan korelasi yang lebih kuat dan signifikan antara defisit kekuatan *quadriceps femoris* dan skor Kujala, seperti yang dilaporkan oleh Halabchi et al. (2020) pada atlet dengan PFPS menegaskan bahwa kelemahan otot *quadriceps femoris* adalah salah satu temuan fisik yang paling konsisten pada atlet dengan PFPS, dan bahwa program rehabilitasi yang berhasil meningkatkan kekuatan *quadriceps femoris* secara konsisten disertai dengan perbaikan skor Kujala yang bermakna (Halabchi et al., 2017). Penelitian Lobo Júnior et al. (2018) juga memperlihatkan bahwa semakin lemah otot *quadriceps femoris*, semakin rendah pula skor fungsi lutut yang dilaporkan pasien (Lobo Júnior et al., 2018). Temuan ini menegaskan bahwa PFPS merupakan sebuah sindrom yang bersifat multifaktorial, ada empat faktor sebagai kontribusi utama yang diidentifikasi yaitu *malalignment* ekstremitas bawah atau *patella*, ketidakseimbangan otot ekstremitas bawah, *overuse/overload*, dan trauma. Ditinjau dari faktor *malalignment* ekstremitas bawah, gangguan *maltracking patella* tidak bersumber dari lemahnya kekuatan *quadriceps femoris* secara keseluruhan, melainkan dari penyimpangan arah gaya yang bekerja pada sendi patelofemoral. Kelemahan *hip abductor* dan *external rotation* akan menyebabkan *hip adductor* dan *internal rotation* mendominasi sehingga terjadi internal rotasi dari *hip* dan *knee valgus* selama gerakan fleksi lutut, yang meningkatkan *dynamic Q-angle* dan meningkatkan tekanan pada *patella*. Perubahan Q-angle ini merupakan akibat dari disfungsi kontrol bagian proksimal yaitu *hip*, bukan dari defisit kekuatan *quadriceps femoris*, sehingga seseorang dengan kekuatan *quadriceps femoris* yang simetris dapat mengalami *malalignment* fungsional yang memicu PFPS. Pada faktor ketidakseimbangan otot, PFPS berkaitan dengan ketidakseimbangan VM dan VL, *tightness hamstring* atau *iliotibial tract*, serta *dynamic valgus* yang bersumber dari kelemahan *abductor hip*, yang semuanya merupakan faktor neuromuskular dan biomekanik yang tidak dipengaruhi oleh kekuatan isokinetik *quadriceps femoris*. Faktor *overuse* dan *overload* menyebabkan peningkatan stres pada sendi *patellofemoral*, perubahan biomekanik ekstremitas bawah, serta kesalahan manajemen beban latihan. Individu dengan *quadriceps femoris* yang kuat sekalipun tetap rentan mengalami PFPS apabila beban kumulatif yang diterima sendi *patellofemoral* melampaui kapasitas. Dengan mempertimbangkan beberapa etiologi dari PFPS ini, menjadikan kekuatan otot *quadriceps*

femoris hanya merepresentasikan sebagian kecil dari satu faktor saja dalam keseluruhan mekanisme PFPS. Secara keseluruhan, bukti ini mendukung pendekatan rehabilitasi yang tidak hanya berfokus pada penguatan *quadriceps femoris*, melainkan mempertimbangkan faktor multifaktorial lain seperti kekuatan otot *hip* serta biomekanika tungkai bawah (Bump & Lewis, 2023; Xie et al., 2022).

Kesimpulan

Secara keseluruhan, hasil penelitian dari uji analisis yang dilakukan dalam penelitian ini menegaskan bahwa terdapat hubungan yang signifikan dengan nilai $p < 0,05$ antara morfologi otot VMO dengan PFPS pada olahragawan, serta terdapat hubungan yang signifikan dengan nilai $p < 0,005$ antara morfologi otot VMO dengan kekuatan *quadriceps femoris* pada olahragawan.

Temuan penelitian ini berkontribusi dalam memperkuat bukti bahwa monitoring simetri morfologi VMO melalui USG muskuloskeletal serta kekuatan otot *quadriceps femoris* memiliki relevansi klinis yang nyata sebagai bagian dari skrining awal risiko PFPS pada olahragawan, khususnya dalam konteks populasi di Indonesia yang datanya masih sangat terbatas dengan catatan bahwa populasi PFPS lebih besar diperlukan untuk mengkonfirmasi kekuatan hubungan ini.

Ucapan Terimakasih

Peneliti berterima kasih kepada para peserta yang secara sukarela untuk penelitian ini, serta para dosen pembimbing dan rekan sejawat di Program Studi Sarjana Fisioterapi Fakultas Kedokteran Universitas Udayana yang memberikan dukungan.

Referensi

- Alsaleh, S. A., Murphy, N. A., Miller, S. C., Morrissey, D., & Lack, S. D. (2021). Local Neuromuscular Characteristics Associated With Patellofemoral Pain: A Systematic Review And Meta-Analysis. In *Clinical Biomechanics* (Vol. 90). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2021.105509>
- Beit Ner, E., Rabau, O., Essa, A., Vinograd, O., Asaaf, R., Gilat, R., & Anekstein, Y. (2025). Evaluating The Association Between Vastus Medialis Oblique Characteristics And Patellar Instability: A Comprehensive Case-Control Study. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 17(5), 1044–1052. <https://doi.org/10.1177/19417381241300159>
- Bessette, M., & Saluan, P. (2016). Patellofemoral Pain And Instability In Adolescent Athletes. *Sports Med Arthrosc Rev*, 24(4), 144–149. www.sportsmedarthro.com
- Bump, J. M., & Lewis, L. (2023). *Patellofemoral Syndrome*. Statpearls [Internet]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/Nbk557657/>
- Castanov, V., Hassan, S. A., Shakeri, S., Vienneau, M., Zabjek, K., Richardson, D., Mckee, N. H., & Agur, A. M. R. (2019). Muscle Architecture Of Vastus Medialis Obliquus And Longus And Its Functional Implications: A Three-Dimensional Investigation. *Clinical Anatomy*, 32(4), 515–523. <https://doi.org/10.1002/ca.23344>

- David Y. Gaitonde, M., Alex Ericksen, M., & Rachel C. Robbins, M. (2019). Patellofemoral Pain Syndrome. *American Family Physician, Volume 99*.
- Dong, C., Li, M., Hao, K., Zhao, C., Piao, K., Lin, W., Fan, C., Niu, Y., & Fei, W. (2021). Does Atrophy Of Vastus Medialis Obliquus And Vastus Lateralis Exist In Patients With Patellofemoral Pain Syndrome. *Journal Of Orthopaedic Surgery And Research, 16*(1). <https://doi.org/10.1186/S13018-021-02251-6>
- El Sawy, M. M., El Mikkawy, D. M. E., El-Sayed, S. M., & Desouky, A. M. (2021). Morphometric Analysis Of Vastus Medialis Oblique Muscle And Its Influence On Anterior Knee Pain. *Anatomy And Cell Biology, 54*(1), 1–9. <https://doi.org/10.5115/Acb.20.258>
- El-Ansary, D., Marshall, C. J., Farragher, J., Annoni, R., Schwank, A., Mcfarlane, J., Bryant, A., Han, J., Webster, M., Zito, G., Parry, S., & Pranata, A. (2021). Architectural Anatomy Of The Quadriceps And The Relationship With Muscle Strength: An Observational Study Utilising Real-Time Ultrasound In Healthy Adults. *Journal Of Anatomy, 239*(4), 847–855. <https://doi.org/10.1111/Joa.13497>
- Franchi, M. V., Fitze, D. P., Hanimann, J., Sarto, F., & Spörri, J. (2020). Panoramic Ultrasound Vs. Mri For The Assessment Of Hamstrings Cross-Sectional Area And Volume In A Large Athletic Cohort. *Scientific Reports, 10*(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-020-71123-6>
- Franchi, M. V., Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2017). Skeletal Muscle Remodeling In Response To Eccentric Vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, And Metabolic Adaptations. In *Frontiers In Physiology* (Vol. 8, Number Jul). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/Fphys.2017.00447>
- Halabchi, F., Abolhasani, M., Mirshahi, M., & Alizadeh, Z. (2017). Patellofemoral Pain In Athletes: Clinical Perspectives. *Open Access Journal Of Sports Medicine, Volume 8*, 189–203. <https://doi.org/10.2147/Oajsm.S127359>
- He, M., Shi, H., Fu, S., & Liu, H. (2025). Differences In Quadriceps But Not Hamstrings Strength In Runners With Varying Durations Of Patellofemoral Pain. *Frontiers In Sports And Active Living, 7*. <https://doi.org/10.3389/Fspor.2025.1612257>
- Holmes, C. J., Abelleira Lastoria, D. A., Roberts, T., Ejindu, V., Robertson, C., & Hing, C. (2025). Assessing The Correlation Between Vastus Medialis Obliquus Cross-Sectional Area And Patellofemoral Instability: A Comparative Magnetic Resonance Imaging Study. *Archives Of Orthopaedic And Trauma Surgery, 145*(1), 448. <https://doi.org/10.1007/S00402-025-06059-5>
- Hosseini, S. H., & Farahmand, F. (2024). Is It Truly Impossible To Strengthen The Vastus Medialis In Isolation From The Entire Quadriceps Muscle Group? *Heliyon, 10*(24), E41012. <https://doi.org/10.1016/J.Heliyon.2024.E41012>
- Hunnicutt, J. L., Mcleod, M. M., Slone, H. S., & Gregory, C. M. (2020). Quadriceps Neuromuscular And Physical Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal Of Athletic Training, 55*(3), 238–245. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-516-18>
- Jan, M. H., Lin, D. H., Lin, J. J., Lin, C. H. J., Cheng, C. K., & Lin, Y. F. (2009). Differences In Sonographic Characteristics Of The Vastus Medialis Obliquus Between Patients With Patellofemoral Pain Syndrome And Healthy Adults. *American Journal Of Sports Medicine, 37*(9), 1743–1749. <https://doi.org/10.1177/0363546509333483>
- Kim, S., Zuk, E. F., Distefano, L. J., Briani, R. V., & Glaviano, N. R. (2024). Lower Extremity Strength Has Weak Or No Associations With Clinical Outcomes In Individuals With Patellofemoral Pain: A Systematic Review With Evidence Gap Map And Meta-Analysis. *Jospt Open, 2*(3), 179–193. <https://doi.org/10.2519/Josptopen.2024.1137>
- Kujala, U. M., Jaakkola, L. H., Koskinen, S. K., Taimela, S., Hurme, M., & Nelimarkka, O. (1993). Scoring Of Patellofemoral Disorders. *Arthroscopy: The Journal Of Arthroscopic & Related Surgery, 9*(2), 159–163. [https://doi.org/10.1016/S0749-8063\(05\)80366-4](https://doi.org/10.1016/S0749-8063(05)80366-4)
- Lanferdini, F. J., Diefenthaler, F., Ávila, A. G., Moro, A. R. P., Van Der Zwaard, S., & Vaz, M. A. (2023). Quadriceps Muscle Morphology Is An Important Determinant Of Maximal Isometric And Crank Torques Of Cyclists. *Sports, 11*(2). <https://doi.org/10.3390/Sports11020022>
- Lobo Júnior, P., Barbosa Neto, I. A., Borges, J. H. D. S., Tobias, R. F., Boitrago, M. V. D. S., & Oliveira, M. D. P. (2018). Clinical Muscular Evaluation In Patellofemoral Pain Syndrome. *Acta Ortopédica Brasileira, 26*(2), 91–93. <https://doi.org/10.1590/1413-785220182602187215>

- Moros, I., Boutsikari, E. C., Plakoutsis, G., Paraskevopoulos, E., Koumantakis, G. A., & Papandreou, M. (2025). Reliability And Validity Measures Of The Patellofemoral Subscale Koos-Pf In Greek Patients With Patellofemoral Pain. *Journal Of Functional Morphology And Kinesiology*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/Jfmk10010044>
- Norte, G., Rush, J., & Sherman, D. (2022). Arthrogenic Muscle Inhibition: Best Evidence, Mechanisms, And Theory For Treating The Unseen In Clinical Rehabilitation. *Journal Of Sport Rehabilitation*, *31*(6), 717–735. <https://doi.org/10.1123/Jsr.2021-0139>
- Pan, H., Fu, S., Zhou, Y., Li, H., & Shi, H. (2026). Relationship Between Quadriceps Strength Performance And Knee Joint Function During Single-Leg Hop Test In Runners With Patellofemoral Pain. *Physical Therapy In Sport*, *77*, 37–43. <https://doi.org/10.1016/J.Ptsp.2025.11.009>
- Pattyn, E., Verdonk, P., Steyaert, A., Vanden Bossche, L., Van Den Broecke, W., Thijs, Y., & Witvrouw, E. (2011). Vastus Medialis Obliquus Atrophy: Does It Exist In Patellofemoral Pain Syndrome? *American Journal Of Sports Medicine*, *39*(7), 1450–1455. <https://doi.org/10.1177/0363546511401183>
- Pompeo, K. D., Da Rocha, E. S., Melo, M. A., De Oliveira, N. T., Oliveira, D. F., Sonda, F. C., Dos Santos, P. F., Rodrigues, R., & Vaz, M. A. (2021). Proximal, Local, And Distal Muscle Morphology In Women With Patellofemoral Pain. *Journal Of Diagnostic Medical Sonography*, *37*(2), 120–131. <https://doi.org/10.1177/8756479320972097>
- Ruhdorfer, A. S., Dannhauer, T., Wirth, W., Cotofana, S., Roemer, F., Nevitt, M., & Eckstein, F. (2014). Thigh Muscle Cross-Sectional Areas And Strength In Knees With Early Vs Knees Without Radiographic Knee Osteoarthritis: A Between-Knee, Within-Person Comparison. *Osteoarthritis And Cartilage*, *22*(10), 1634–1638. <https://doi.org/10.1016/J.Joca.2014.06.002>
- Setyaningrum, D. A. W. (2019). Cedera Olahraga Serta Penyakit Terkait Olahraga. *Jurnal Biomedika Dan Kesehatan*, *2*(1), 39–44. <https://doi.org/10.18051/Jbiomedkes.2019.V2.39-44>
- Sonnery-Cottet, B., Hopper, G. P., Gousopoulos, L., Vieira, T. D., Thauinat, M., Fayard, J.-M., Freychet, B., Ouanezar, H., Cavaignac, E., & Saithna, A. (2022). Arthrogenic Muscle Inhibition Following Knee Injury Or Surgery: Pathophysiology, Classification, And Treatment. *Video Journal Of Sports Medicine*, *2*(3). <https://doi.org/10.1177/26350254221086295>
- Tate, C. M., Williams, G. N., Barrance, P. J., & Buchanan, T. S. (2006). Lower Extremity Muscle Morphology In Young Athletes: An Mri-Based Analysis. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, *38*(1), 122–128. <https://doi.org/10.1249/01.Mss.0000179400.67734.01>
- Who. (2020). *Who Guidelines On Physical Activity And Sedentary Behaviour*.
- Xie, P., István, B., & Liang, M. (2022). The Relationship Between Patellofemoral Pain Syndrome And Hip Biomechanics: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Healthcare*, *11*(1), 99. <https://doi.org/10.3390/Healthcare11010099>