

Kadar Vitamin D Dipengaruhi Lemak Tubuh? Temuan Studi tentang Komposisi Tubuh Manusia Dewasa

Does Body Fat Affect Vitamin D Levels?

Findings from a Study on the Body Composition of Adults

Alexander Halim Santoso^{1*}, Stanislas Kotska Marvel Mayello Teguh², Ayleen Nathalie Jap², Evelyn³, Axsel Harsono³

¹Universitas Tarumanagara, Ilmu Gizi, Fakultas Kedokteran, Jakarta, Indonesia

²Universitas Tarumanagara, Program Studi Profesi Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Jakarta, Indonesia

²Universitas Tarumanagara, Program Studi Sarjana Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Jakarta, Indonesia

Kata Kunci :

Adiposa, Komposisi tubuh, Lemak tubuh, Otot rangka, Vitamin D

ABSTRAK

Pendahuluan: Vitamin D tidak hanya berperan dalam metabolisme kalsium dan tulang, tetapi juga terlibat dalam fungsi sistem imun dan metabolisme tubuh secara keseluruhan. Salah satu faktor yang diduga memengaruhi kadar vitamin D adalah komposisi tubuh, terutama jaringan lemak. Hubungan antara lemak tubuh dan kadar vitamin D masih menjadi perdebatan, khususnya dalam populasi dewasa dengan status nutrisi beragam. Penelitian ini bertujuan melihat hubungan antara komposisi tubuh dengan kadar vitamin D pada populasi dewasa.
Metode: Penelitian ini menggunakan desain potong lintang dengan melibatkan 56 partisipan dewasa di kawasan Danau Sunter, Tanjung Priuk, Jakarta Utara. Data dikumpulkan meliputi kadar 25(OH) vitamin D serum, indeks massa tubuh (IMT), total lemak tubuh, lemak visceral, lemak subkutan, dan massa otot rangka. Analisis yang digunakan mencakup regresi linear dan korelasi parsial, dengan usia sebagai variabel kontrol.
Hasil: Ditemukan bahwa total lemak tubuh memiliki hubungan positif dan signifikan dengan kadar vitamin D ($p < 0,05$) dan tetap signifikan setelah dikontrol usia. Variabel lain seperti lemak visceral, subkutan, IMT, dan massa otot tidak menunjukkan hubungan yang bermakna. Nilai R^2 tertinggi terdapat pada model regresi dengan total lemak tubuh sebagai satu-satunya prediktor, yang menjelaskan 11,5% variasi kadar vitamin D.
Kesimpulan: Total lemak tubuh merupakan prediktor signifikan terhadap kadar vitamin D dalam populasi ini, meskipun arah hubungannya bertolak belakang dengan sebagian besar literatur. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pada sampel yang lebih besar dengan memperhitungkan aktivitas fisik, pola makan, dan distribusi lemak yang lebih detail untuk memperjelas mekanisme hubungan ini.

Keywords :

Adipose, Body composition, Body fat, Skeletal muscle, Vitamin D

ABSTRACT

Introduction: Vitamin D plays a crucial role not only in calcium and bone metabolism but also in immune function and overall body metabolism. One factor suspected to influence vitamin D levels is body composition, particularly adipose tissue. However, the relationship between body fat and vitamin D levels remains controversial, especially among adults with varying nutritional status. This study aims to examine the relationship between body composition and vitamin D levels in the adult population.
Methods: This cross-sectional study involved 56 adult participants from the Danau Sunter area. Data collected included serum 25(OH) vitamin D levels, body mass index (BMI), total body fat, visceral fat, subcutaneous fat, and skeletal muscle mass. Analyses included linear regression and partial correlation, with age as a control variable.

Results: Total body fat showed a significant positive association with vitamin D levels ($p < 0.05$), which remained significant after adjusting for age. Other variables such as visceral fat, subcutaneous fat, BMI, and skeletal muscle did not show a meaningful association. The highest R^2 value was observed in the regression model using total body fat alone as a predictor, explaining 11.5% of the variance in vitamin D levels. **Conclusion:** Total body fat is a significant predictor of vitamin D levels in this population, although the direction of the relationship contradicts much of the existing literature. Further research with larger samples that account for physical activity, dietary patterns, and more detailed fat distribution is needed to clarify this relationship.

Copyright © 2025 JKBD
All rights reserved

Corresponding Author:

Alexander Halim Santoso

Universitas Tarumanagara, Ilmu Gizi, Fakultas Kedokteran, Jakarta, Indonesia

Email: alexanders@fk.untar.ac.id

Article history

Received date : 26 Juli 2025

Revised date : 28 Juli 2025

Accepted date : 31 Juli 2025

PENDAHULUAN

Vitamin D merupakan nutrisi esensial yang berperan penting dalam metabolisme kalsium, kesehatan tulang, fungsi imun, serta regulasi berbagai proses fisiologis tubuh. Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian terhadap status vitamin D pada populasi dewasa meningkat seiring dengan temuan bahwa defisiensi vitamin D tidak hanya berkaitan dengan gangguan muskuloskeletal, tetapi juga dengan kondisi metabolik kronik seperti obesitas, diabetes, dan penyakit kardiovaskular^{1,2}.

Vitamin D memiliki sifat unik karena diproduksi secara endogen melalui paparan sinar ultraviolet B (UVB) serta dapat diperoleh dari makanan dan suplemen. Namun, status vitamin D dalam tubuh tidak hanya bergantung pada asupan atau paparan sinar matahari, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik fisiologis individu, termasuk komposisi tubuh. Lemak tubuh diketahui memiliki hubungan kompleks dengan kadar vitamin D karena sifat lipofilik vitamin ini menyebabkan penyimpanan utamanya terjadi dalam jaringan adiposa. Beberapa teori menyebutkan bahwa akumulasi lemak, terutama pada individu obes, dapat menyebabkan penurunan bioavailabilitas vitamin D, karena vitamin tersebut menjadi "terperangkap" dalam lemak dan tidak tersedia untuk fungsi biologis aktif^{3,4}.

Meskipun demikian, temuan terkait hubungan antara komposisi tubuh dan kadar vitamin D masih menunjukkan hasil yang

bervariasi. Beberapa penelitian melaporkan adanya korelasi negatif antara lemak tubuh dan kadar vitamin D, sementara studi lain justru menemukan hubungan positif atau tidak signifikan. Variasi hasil ini mengindikasikan bahwa mekanisme hubungan tersebut bersifat multifaktorial dan mungkin dipengaruhi oleh lokasi distribusi lemak, aktivitas fisik, usia, hingga etnisitas^{5,6}.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara komposisi tubuh dan kadar vitamin D pada populasi dewasa di wilayah Danau Sunter. Fokus utama diarahkan pada komponen lemak tubuh, termasuk total lemak, lemak visceral, dan subkutan, serta massa otot rangka. Kajian ini diharapkan dapat memperkaya pemahaman mengenai determinan status vitamin D di populasi urban Indonesia serta memberikan dasar ilmiah untuk intervensi berbasis komposisi tubuh.

METODE

Studi observasional potong lintang ini dilaksanakan di wilayah Danau Sunter Tanjung Priuk, Jakarta Utara, selama periode Maret hingga Mei 2025. Penelitian ini melibatkan populasi dewasa, yaitu individu berusia 18 tahun ke atas yang berdomisili atau beraktivitas secara rutin di area tersebut. Subjek penelitian dipilih melalui teknik *consecutive sampling*, yakni semua individu yang memenuhi syarat inklusi dan hadir selama masa pengumpulan data akan

diikutsertakan secara berurutan hingga jumlah yang ditentukan terpenuhi.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini mencakup individu dewasa berusia ≥ 18 tahun, bersedia memberikan persetujuan tertulis (*informed consent*), dan tidak sedang mengonsumsi suplemen vitamin D dalam 3 bulan terakhir. Adapun kriteria eksklusi mencakup individu dengan riwayat penyakit ginjal kronik, gangguan hati, kondisi metabolik yang memengaruhi metabolisme vitamin D (seperti hipoparatiroidisme), serta kondisi yang dapat mengganggu hasil pengukuran komposisi tubuh seperti kehamilan, penggunaan alat pacu jantung, atau implan logam dalam tubuh.

Variabel utama dalam penelitian ini meliputi komposisi tubuh yang diukur menggunakan alat Omron Karada Scan Body Composition Monitor HBF-375, yang dapat mendeteksi total lemak tubuh, lemak viseral, lemak subkutan, indeks massa tubuh, dan total massa otot rangka. Selain itu, kadar vitamin D dianalisis melalui pengambilan darah vena, dengan parameter yang diukur adalah 25-hidroksi vitamin D, menggunakan metode *Flow Injection Analysis* (FIA).

Analisis statistik menggunakan metode Regresi Linear Berganda dengan pendekatan Backward Likelihood Ratio (Backward LR) guna mengevaluasi pengaruh berbagai komponen tubuh terhadap kadar vitamin D. Selain itu, untuk mengontrol variabel perancu berupa usia, dilakukan analisis korelasi parsial. Seluruh pengujian statistik dilakukan pada taraf signifikansi 5% ($p < 0,05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini melibatkan 56 responden di Danau Sunter. Rata-rata usia responden adalah 44,59 tahun dengan komposisi jenis kelamin yang tidak dijelaskan dalam angka, namun menjadi latar umum penelitian ini. Rerata indeks massa tubuh (IMT) sebesar 26,43 menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada dalam kategori *overweight*. Rata-rata kadar vitamin D mencapai 59,93 ng/mL, yang berada dalam rentang cukup hingga optimal menurut standar umum. Total lemak tubuh, lemak viseral, dan lemak subkutan berada pada kisaran moderat, sementara massa otot rangka reratanya sebesar 27,78 %. (Tabel 1)

Tabel 1. Karakteristik Dasar Responden Penelitian pada Masyarakat Danau Sunter

Parameter	N (%)	Mean (SD)
Usia		44,59 (12,11)
Jenis Kelamin		
• Laki-Laki		
• Perempuan		
Total Lemak Tubuh		30,95 (8,84)
Lemak Viseral (%)		10,71 (4,96)
Indeks Massa tubuh (Kg/m ²)		26,43 (4,52)
Total Lemak Subkutan (%)		28,34 (17,22)
Total Otot Rangka (%)		27,78 (8,12)
Kadar Vitamin D (25-hidroksi vitamin D) (ng/mL)		59,93 (17,51)

Tabel 2 menunjukkan hasil analisis regresi linear antara komposisi tubuh dengan kadar vitamin D (25-hidroksi vitamin D). Dalam seluruh model regresi yang digunakan (Model 1–5), satu temuan yang konsisten dan signifikan adalah hubungan positif antara total lemak tubuh dan kadar vitamin D. Sebagai contoh, pada Model 1, total lemak tubuh memiliki nilai $p = 0,018$ dengan koefisien $B = 1,208$, artinya setiap peningkatan satu unit pada lemak tubuh berasosiasi dengan peningkatan kadar vitamin D sebesar 1,208 ng/mL. Fenomena ini sejalan dengan sifat vitamin D yang larut dalam lemak dan

cenderung tersimpan dalam jaringan adiposa. Namun, hasil ini juga bisa dianggap paradoksial jika dikaitkan dengan teori bahwa vitamin D dapat menjadi tidak aktif bila terlalu banyak tersimpan dalam lemak pada obesitas ekstrem—tetapi pada populasi ini, kemungkinan belum mencapai titik tersebut.

Sebaliknya, lemak viseral, IMT, lemak subkutan, dan otot rangka tidak menunjukkan hubungan yang signifikan terhadap kadar vitamin D ($p > 0,05$), meskipun otot merupakan salah satu tempat kerja hormon aktif turunan vitamin D. Ketidaksignifikanan ini dapat dijelaskan oleh homogenitas aktivitas

fisik atau ukuran sampel yang terbatas yang mengurangi daya statistik dalam mendeteksi

efek otot. Hal ini pula yang menjadi keterbatasan penelitian ini (Tabel 2)

Tabel 2. Analisis Regresi Linear Komposisi Tubuh Terhadap Kadar Vitamin D (25-hidroksi vitamin D) pada Masyarakat Danau Sunter

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	48.865	28.829		1.695	0.096
	Total Lemak Tubuh	1.208	0.495	0.610	2.440	0.018
	Lemak Viseral	0.755	1.137	0.214	0.664	0.509
	Indeks Massa Tubuh	-1.429	1.377	-0.369	-1.038	0.304
	Total Lemak Subkutan	-0.177	0.249	-0.174	-0.713	0.479
2	Total Otot Rangka	0.301	0.407	0.140	0.739	0.463
	(Constant)	35.761	20.912		1.710	0.093
	Total Lemak Tubuh	1.188	0.492	0.600	2.416	0.019
	Indeks Massa Tubuh	-0.619	0.635	-0.160	-0.974	0.335
	Total Lemak Subkutan	-0.195	0.246	-0.192	-0.795	0.430
3	Total Otot Rangka	0.335	0.402	0.155	0.833	0.409
	(Constant)	46.894	15.480		3.029	0.004
	Total Lemak Tubuh	0.900	0.333	0.455	2.708	0.009
	Indeks Massa Tubuh	-0.691	0.626	-0.178	-1.104	0.275
	Total Otot Rangka	0.123	0.301	0.057	0.411	0.683
4	(Constant)	50.072	13.302		3.764	0.000
	Total Lemak Tubuh	0.849	0.306	0.429	2.777	0.008
	Indeks Massa Tubuh	-0.622	0.598	-0.160	-1.039	0.303
5	(Constant)	39.147	8.157		4.799	0.000
	Total Lemak Tubuh	0.671	0.254	0.339	2.647	0.011

a. *Dependent Variable:* Vitamin D (25-hidroksi vitamin D))

Tabel 3 memperlihatkan ringkasan model prediksi terhadap kadar vitamin D. Nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi muncul pada Model 1, yaitu 0,153, yang mengindikasikan bahwa model tersebut menjelaskan sekitar 15,3% variasi kadar vitamin D berdasarkan seluruh komponen tubuh. Namun demikian, nilai R^2 tidak meningkat secara bermakna ketika variabel

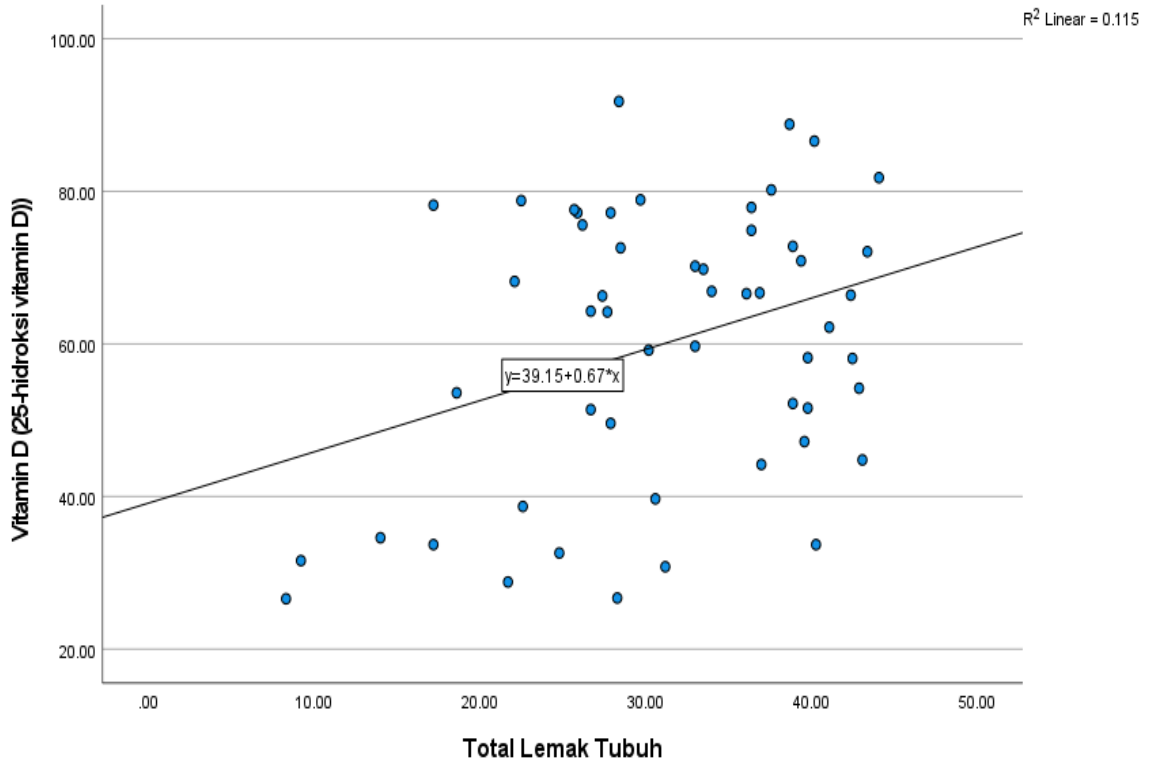
dikurangi, misalnya pada Model 5 yang hanya menggunakan total lemak tubuh ($R^2 = 0,115$). Artinya, total lemak tubuh sendiri sudah memberikan sumbangan yang cukup terhadap prediksi kadar vitamin D, sementara variabel lain menambah kompleksitas tanpa memberikan peningkatan prediksi yang berarti. (Tabel 3, Gambar 1)

Tabel 3. Estimasi Kemampuan Prediktor Model Komposisi Tubuh terhadap Kadar Vitamin D (25-hidroksi vitamin D) pada Masyarakat Danau Sunter

Model	Model Summary			
	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.392 ^a	0.153	0.069	16.89583
2	0.382 ^b	0.146	0.079	16.80306
3	0.368 ^c	0.135	0.085	16.74357
4	0.364 ^d	0.133	0.100	16.61175
5	0.339 ^e	0.115	0.098	16.62407

a. Predictors: (Constant), Total Otot Rangka, Indeks Massa Tubuh, Total Lemak Subkutan, Total Lemak Tubuh, Lemak Viseral

- b. Predictors: (Constant), Total Otot Rangka, Indeks Massa Tubuh, Total Lemak Subkutan, Total Lemak Tubuh
- c. Predictors: (Constant), Total Otot Rangka, Indeks Massa Tubuh, Total Lemak Tubuh
- d. Predictors: (Constant), Indeks Massa Tubuh, Total Lemak Tubuh
- e. Predictors: (Constant), Total Lemak Tubuh



Gambar 1. Scatter Plot dan Linearitas antara Total Lemak Tubuh dengan Kadar Vitamin D (25-hidroksi vitamin D) pada Masyarakat Danau Sunter

Tabel 4 menyajikan hasil korelasi parsial antara total lemak tubuh dan kadar vitamin D dengan usia sebagai variabel kontrol. Hasilnya menunjukkan bahwa hubungan tetap signifikan ($r = 0,302$; $p = 0,025$), menandakan bahwa usia tidak mengganggu korelasi tersebut. Dengan kata

lain, hubungan antara lemak tubuh dan vitamin D tetap relevan tanpa dipengaruhi oleh perbedaan umur antarresponden. Temuan ini menguatkan argumen bahwa status vitamin D dalam tubuh secara relatif lebih ditentukan oleh profil lemak tubuh daripada faktor usia dalam konteks populasi yang diteliti. (Tabel 4)

Tabel 4. Korelasi Parsial antara Total Lemak Tubuh dengan Kadar Vitamin D (25-hidroksi vitamin D) dengan Usia sebagai Variabel Kontrol

Control Variables		Vitamin D (25-hidroksi vitamin D))	Total Lemak Tubuh
Usia	Vitamin D (25-hidroksi vitamin D))	1.000	0.302
	<i>Correlation</i>		
	<i>Significance (2-tailed)</i>	.	0.025
	Total Lemak Tubuh	0.302	1.000
	<i>Significance (2-tailed)</i>	0.025	.

Hubungan antara komposisi tubuh dan kadar vitamin D telah menjadi fokus berbagai penelitian dalam dekade terakhir, terutama mengingat peran fisiologis vitamin D yang tidak terbatas pada metabolisme kalsium, tetapi juga berkaitan erat dengan regulasi metabolisme, fungsi otot, dan sistem imun. Vitamin D juga memainkan peran dalam diferensiasi sel, ekspresi gen antiinflamasi, serta sensitivitas insulin, menjadikannya molekul yang memiliki implikasi luas dalam homeostasis tubuh. Temuan pada penelitian ini menunjukkan bahwa total lemak tubuh berkorelasi positif dengan kadar vitamin D, suatu hal yang tampak paradoksal mengingat mayoritas literatur justru melaporkan sebaliknya. Dalam banyak studi, akumulasi jaringan adiposa kerap dikaitkan dengan penurunan bioavailabilitas vitamin D, mengingat vitamin ini larut dalam lemak dan cenderung tertahan dalam jaringan adiposa, sehingga mengurangi konsentrasi yang beredar secara aktif dalam sirkulasi^{17,18}.

Namun, hasil yang bertentangan ini dapat dijelaskan oleh perbedaan konteks populasi, tingkat adipositas, hingga pendekatan pengukuran yang digunakan dalam masing-masing studi. Pada populasi dengan tingkat *overweight* atau obesitas ringan, kemungkinan besar lemak tubuh berperan sebagai cadangan fisiologis vitamin D yang stabil, belum menunjukkan efek penjejakan yang merugikan sebagaimana terjadi pada obesitas ekstrem. Di sisi lain, variabilitas diet, paparan sinar matahari, dan aktivitas fisik juga dapat memengaruhi kadar vitamin D secara independen, sehingga pengaruh lemak tubuh bisa tampak lebih kuat atau bahkan menutupi variabel lain. Selain itu, jenis dan distribusi jaringan lemak antara subkutan atau viseral, dapat memberikan implikasi metabolik yang berbeda terhadap penyimpanan dan pelepasan vitamin D. Dengan demikian, korelasi positif antara total lemak dan vitamin D dalam konteks ini dapat mencerminkan sifat kompleks dari metabolisme vitamin D itu sendiri, yang tidak hanya dipengaruhi oleh total volume jaringan adiposa, tetapi juga oleh kualitas metabolik jaringan tersebut¹⁹⁻²¹.

Selain itu, peran lemak viseral, subkutan, serta massa otot juga menarik untuk diperhatikan dalam konteks metabolisme vitamin D. Secara fisiologis, lemak viseral dikenal lebih aktif secara metabolik dibandingkan lemak subkutan, karena

memiliki densitas vaskularisasi yang tinggi serta kemampuan mensekresikan berbagai sitokin proinflamasi seperti IL-6 dan TNF- α . Kondisi ini biasanya diasosiasikan dengan resistensi insulin, peradangan kronis tingkat rendah, dan gangguan metabolik lainnya yang dapat berdampak pada sintesis maupun metabolisme vitamin D. Namun demikian, dalam penelitian ini, lemak viseral tidak menunjukkan hubungan yang signifikan terhadap kadar vitamin D. Salah satu kemungkinan penyebabnya adalah keterbatasan variasi kadar lemak viseral dalam populasi yang diteliti, yang belum mencapai ambang disfungsi metabolik yang nyata, atau karena metode pengukuran yang tidak cukup sensitif menangkap perbedaan kecil antar individu^{22,23}.

Begitu pula dengan lemak subkutan, meskipun memiliki kapasitas penyimpanan vitamin D, kontribusinya terhadap kadar vitamin D serum cenderung bersifat pasif dan tidak setara dengan efek metabolik lemak viseral. Ketidaksignifikanan ini juga bisa mencerminkan bahwa pada tingkat *overweight* ringan hingga sedang, lemak subkutan belum memainkan peran sentral dalam menentukan kadar vitamin D. Sementara itu, massa otot yang merupakan salah satu target aksi aktif vitamin D melalui ekspresi reseptor vitamin D (*Vitamin D receptor/VDR*), juga tidak menunjukkan hubungan yang berarti. Hal ini menimbulkan dugaan bahwa respons jaringan otot terhadap vitamin D tidak semata ditentukan oleh massa otot, tetapi juga oleh kualitas jaringan, aktivitas fungsional, dan status metabolik sel otot itu sendiri. Di samping itu, homogenitas aktivitas fisik yang rendah dan ukuran sampel yang terbatas juga dapat menurunkan kemampuan deteksi hubungan yang lemah namun relevan secara biologis. Oleh karena itu, diperlukan studi lanjutan dengan desain longitudinal dan populasi yang lebih beragam untuk mengklarifikasi dinamika interaksi antara jaringan otot, kompartemen lemak, dan homeostasis vitamin D secara menyeluruh^{24,25}.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Pertama, ukuran sampel yang relatif kecil dan homogenitas karakteristik partisipan, terutama dalam hal rentang aktivitas fisik dan status metabolik, dapat membatasi generalisasi temuan. Kedua, tidak adanya data spesifik mengenai asupan

makanan, paparan sinar matahari, serta suplementasi vitamin D membuat sulit untuk mengevaluasi kontribusi faktor eksternal terhadap kadar vitamin D. Selain itu, pendekatan potong lintang (cross-sectional) tidak memungkinkan untuk menyimpulkan hubungan kausal antara komposisi tubuh dan kadar vitamin D.

Untuk menjawab keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain longitudinal dengan ukuran sampel yang lebih besar dan lebih beragam. Penambahan variabel seperti durasi paparan sinar matahari, kebiasaan konsumsi makanan sumber vitamin D, status hormonal, serta parameter aktivitas fisik yang terukur akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif. Selain itu, pendekatan analisis yang mempertimbangkan kualitas jaringan otot maupun distribusi spesifik lemak dapat membuka wawasan baru terkait mekanisme penyimpanan dan aktivasi vitamin D dalam tubuh manusia.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa total lemak tubuh memiliki hubungan positif yang signifikan terhadap kadar vitamin D pada populasi dewasa di Danau Sunter. Temuan ini menunjukkan bahwa, dalam populasi dengan tingkat adipositas moderat, akumulasi lemak tubuh belum tentu menurunkan kadar vitamin D, melainkan dapat mencerminkan kapasitas penyimpanan yang justru mendukung ketersediaannya. Sebaliknya, komponen tubuh lain seperti lemak visceral, lemak subkutan, IMT, dan massa otot tidak menunjukkan asosiasi yang bermakna terhadap status vitamin D. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi dan proporsi lemak tubuh secara keseluruhan mungkin lebih relevan dibandingkan lokasi spesifik atau komponen tubuh lainnya dalam menentukan kadar vitamin D.

DAFTAR PUSTAKA

Mendes MM, Botelho PB, Ribeiro H. Vitamin D and musculoskeletal health: outstanding aspects to be considered in the light of current evidence. *Endocr Connect* [Internet]. 2022 Oct 1 [cited 2025 Jul 11];11(10):e210596. Available

from:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9578072/>

Park JE, Pichiah PBT, Cha YS. Vitamin D and Metabolic Diseases: Growing Roles of Vitamin D. *J Obes Metab Syndr* [Internet]. 2018 [cited 2025 Jul 11];27(4):223. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6513299/>

Ljubic A, Thulesen ET, Jacobsen C, Jakobsen J. UVB exposure stimulates production of vitamin D3 in selected microalgae. *Algal Res* [Internet]. 2021 Nov 1 [cited 2025 Jul 11];59:102472. Available from:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211926421002915>

Surdu AM, Pînzariu O, Ciobanu DM, Negru AG, Căinap SS, Lazea C, et al. Vitamin D and Its Role in the Lipid Metabolism and the Development of Atherosclerosis. *Biomedicines* [Internet]. 2021 Feb 1 [cited 2025 Jul 11];9(2):172. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7916166/>

Souza WN, Aparicio-Ugarriza R, Bibiloni MM, Palacios G, Aguilar I, Tur JA, et al. Better body composition and lipid profile can be associated with vitamin D status in Spanish elderly? The PHYSMED study. *J Nutr Heal aging* [Internet]. 2017 Dec 1 [cited 2025 Jul 11];21(10):1329–36. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1279770723001239>

Jeenduang N, Sangkaew B. The association between serum 25-hydroxyvitamin D concentrations and serum lipids in the Southern Thai population. *Arch Med Sci* [Internet]. 2022 Jan 17 [cited 2025 Jul 11];18(1):11–7. Available from: <https://www.archivesofmedicalscience.com/The-association-between-serum-25-hydroxyvitamin-D-concentrations-and-serum-lipids,106196,0,2.html>

Ao T, Kikuta J, Ishii M. The Effects of Vitamin D on Immune System and Inflammatory Diseases. *Biomolecules* [Internet]. 2021 Nov 1 [cited 2025 Jan 9];11(11):1624. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8615708/>

Sikora-Klak J, Narvy SJ, Yang J, Makhni E,

- Kharrazi FD, Mehran N. The Effect of Abnormal Vitamin D Levels in Athletes. *Perm J* [Internet]. 2018 Jul 5 [cited 2025 Jul 11];22:17–216. Available from: <https://www.thepermanentejournal.org/doi/pdf/10.7812/TPP/17-216?download=true>
- Magalhães PM, Cruz SP da, Carneiro OA, Teixeira MT, Ramalho A. Vitamin D Inadequacy and Its Relation to Body Fat and Muscle Mass in Adult Women of Childbearing Age. *Nutrients* [Internet]. 2024 Apr 25 [cited 2025 Jul 11];16(9). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38732514/>
- Doğan Y, Kara M, Culha MA, Özçakar L, Kaymak B. The relationship between vitamin D deficiency, body composition, and physical/cognitive functions. *Arch Osteoporos* [Internet]. 2022 Dec 1 [cited 2025 Jul 11];17(1):66. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9008297/>
- Park CY, Han SN. The Role of Vitamin D in Adipose Tissue Biology: Adipocyte Differentiation, Energy Metabolism, and Inflammation. *J Lipid Atheroscler* [Internet]. 2021 [cited 2025 Jul 11];10(2):130. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8159757/>
- Abbas MA. Physiological functions of Vitamin D in adipose tissue. *J Steroid Biochem Mol Biol* [Internet]. 2017 Jan 1 [cited 2025 Jul 11];165:369–81. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960076016302199>
- Alzohily B, AlMenhali A, Gariballa S, Munawar N, Yasin J, Shah I. Unraveling the complex interplay between obesity and vitamin D metabolism. *Sci Rep* [Internet]. 2024 Dec 1 [cited 2025 Jul 11];14(1):1–17. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-58154-z>
- Chou SH, Murata EM, Yu C, Danik J, Kotler G, Cook NR, et al. Effects of Vitamin D3 Supplementation on Body Composition in the VITamin D and Omega-3 Trial (VITAL). *J Clin Endocrinol Metab* [Internet]. 2021 May 1 [cited 2025 Jul 11];106(5):1377. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8063236/>
- Cominacini M, Fumaneri A, Ballerini L, Braggio M, Valenti MT, Dalle Carbonare L. Unraveling the Connection: Visceral Adipose Tissue and Vitamin D Levels in Obesity. *Nutr* 2023, Vol 15, Page 4259 [Internet]. 2023 Oct 5 [cited 2025 Jul 11];15(19):4259. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-6643/15/19/4259/htm>
- Chattranukulchai Shantavasinkul P, Nimitphong H. Vitamin D and Visceral Obesity in Humans: What Should Clinicians Know? *Nutrients* [Internet]. 2022 Aug 1 [cited 2025 Jul 11];14(15):3075. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9332747/>
- Tufoni M, Zaccherini G, Caraceni P, Bernardi M. Albumin: Indications in chronic liver disease. *United Eur Gastroenterol J* [Internet]. 2020 Jun 1 [cited 2025 Apr 23];8(5):528. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7268936/>
- Dzik KP, Kaczor JJ. Mechanisms of vitamin D on skeletal muscle function: oxidative stress, energy metabolism and anabolic state. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2019 Apr 9 [cited 2025 Jul 11];119(4):825. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6422984/>
- Khan SR, Claeson M, Khan A, Neale RE. The effect of physical activity on vitamin D: A systematic review and meta-analysis of intervention studies in humans. *Public Heal Pract* [Internet]. 2024 Jun 1 [cited 2025 Jul 11];7:100495. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666535224000326>
- Carrelli A, Bucovsky M, Horst R, Cremers S, Zhang C, Bessler M, et al. Vitamin D Storage in Adipose Tissue of Obese and Normal Weight Women. *J Bone Miner Res* [Internet]. 2016 Feb 1 [cited 2025 Jul 11];32(2):237. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5577589/>

- Klinedinst BS, Meier NF, Larsen B, Wang Y, Yu S, Mochel JP, et al. Walking in the light: How history of physical activity, sunlight, and vitamin D account for body fat - a UK Biobank study. *Obesity (Silver Spring)* [Internet]. 2020 Aug 1 [cited 2025 Jul 11];28(8):1428. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7501143/>
- Arabi A, Nasrallah D, Mohsen S, Abugharbieh L, Al-Hashimi D, AlMass S, et al. The interplay between vitamin D status, subclinical inflammation, and prediabetes. *Heliyon* [Internet]. 2024 Aug 15 [cited 2025 Jul 11];10(15):e35764. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024117951>
- Wang T, He C. Pro-inflammatory cytokines: The link between obesity and osteoarthritis. *Cytokine Growth Factor Rev* [Internet]. 2018 Dec 1 [cited 2025 Jul 11];44:38–50. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359610118301199>
- Agoncillo M, Yu J, Gunton JE. The Role of Vitamin D in Skeletal Muscle Repair and Regeneration in Animal Models and Humans: A Systematic Review. *Nutr* 2023, Vol 15, Page 4377 [Internet]. 2023 Oct 16 [cited 2025 Jul 11];15(20):4377. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-6643/15/20/4377/htm>
- Janoušek J, Pilařová V, Macáková K, Nomura A, Veiga-Matos J, Silva DD da, et al. Vitamin D: sources, physiological role, biokinetics, deficiency, therapeutic use, toxicity, and overview of analytical methods for detection of vitamin D and its metabolites. *Crit Rev Clin Lab Sci* [Internet]. 2022 Nov 17 [cited 2025 Jan 9];59(8):517–54. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408363.2022.2070595>