

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Testis merupakan kelenjar seks pria yang memiliki fungsi endokrin dan eksokrin. Testis merupakan struktur reproduksi berbentuk oval yang terdapat di dalam skrotum dan dipisahkan oleh septum skrotum. Secara fisiologis, testis memproduksi spermatozoa dan hormon testosteron pada laki-laki. Tubulus seminiferus merupakan bagian dari testis sekitar 70%–90%, sehingga spermatogenesis dapat dinilai dengan mengukur volume testis.^{1,2}

Pubertas semakin dikenal sebagai masa transisi fisiologi. Perubahan yang paling dramatis adalah percepatan pertumbuhan pubertas, dimana anak laki-laki biasanya tumbuh 30 sentimeter dan anak perempuan tumbuh 25-27 sentimeter karena sinergi antara steroid seks dan hormon pertumbuhan (Abbassi 1998). Pada anak perempuan, percepatan pertumbuhan terjadi lebih awal, dengan puncak pertumbuhan biasanya terjadi pada saat dimulainya perkembangan payudara. Bagi anak laki-laki, hal ini terjadi belakangan. Anak perempuan biasanya berhenti tumbuh pada akhir masa pubertas, dan hanya bertambah sekitar 2,5 sentimeter setelah awal menstruasi. Anak laki-laki terus tumbuh dengan lambat setelah masa pubertas berakhir, mencapai tinggi badan akhir pada usia sekitar 18 tahun.²⁷

Masa kanak-kanak berakhir dengan permulaan pubertas, yang biasanya terjadi pada usia antara 9,5 dan 13,5 tahun (rata-rata 11,5 tahun) dan mengarah padapencapaian kematangan seksual yang sempurna.³⁰ Pubertas memerlukan proses non linier progresif yang dimulai dari masa praremaja hingga kematangan seksual penuh melalui interaksi dan kerja sama perubahan biologis, fisik, dan psikologis.

Nutrisi adalah salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi permulaan dan perkembangan pubertas. Nutrisi yang cukup merupakan

faktor kunci yang memungkinkan terjadinya waktu dan tempo normal perkembangan pubertas. Pubertas memicu percepatan pertumbuhan sehingga meningkatkan kebutuhan nutrisi termasuk zat gizi makro dan mikro. Peningkatan kebutuhan kalori, protein, zat besi, kalsium, seng, dan fosfat harus dipenuhi selama periode kritis pertumbuhan linier yang cepat dan penambahan tulang. Malnutrisi primer atau sekunder yang sedang dan berat dapat mempengaruhi permulaan dan perkembangan pubertas. Tingginya insiden defisiensi nutrisi dan anoreksia nervosa pada remaja menimbulkan risiko nutrisi pada perkembangan pubertas dan tinggi badan di masa dewasa.³¹

Pubertas adalah puncak dari interaksi kompleks antara faktor genetika, metabolisme, nutrisi, dan hormonal. Dengan demikian, obesitas pada masa anak-anak mungkin berperan dalam permulaan dan tempo pubertas. Faktanya, perkembangan pubertas dini dan pubertas dini sentral telah dikaitkan dengan obesitas pada masa anak-anak.³⁹ Anak-anak yang kelebihan berat badan atau obesitas lebih mungkin memasuki masa pubertas lebih awal. Beberapa bukti menunjukkan bahwa obesitas dapat mempercepat timbulnya pubertas pada anak perempuan dan dapat menunda timbulnya pubertas pada anak laki-laki. Selain itu, perkembangan pubertas dipengaruhi oleh nutrisi.³²

Interaksi nutrisi-hormon selama periode kritis pertumbuhan memainkan peran penting dalam kontrol dan prediksi adaptasi metabolik dan perkembangan pubertas di masa depan. Pertambahan berat badan dini yang cepat menyebabkan tinggi badan pada masa kanak-kanak dan tingkat faktor pertumbuhan mirip insulin I (IGF-I) yang lebih tinggi, kemungkinan melalui induksi dini jumlah reseptor hormon pertumbuhan (GH) dan anak-anak tersebut juga berisiko mengalami obesitas pada masa kanak-kanak. Dalam Studi Longitudinal Avon terhadap orang tua dan Anak, kenaikan berat badan yang cepat pada masa bayi dikaitkan dengan peningkatan risiko obesitas pada usia 5 dan 8 tahun, dengan bukti adanya resistensi insulin, adrenarke yang berlebihan, dan penurunan kadar globulin pengikat

hormon seks (SHBG). Secara teoritis peningkatan kadar IGF- I dan androgen adrenal dapat meningkatkan aktivitas aromatase dan kadar steroid seks bebas yang akibatnya dapat membangkitkan pembangkit denyut GnRH secara dini. Selain itu, bayi dan anak-anak yang mengalami obesitas memiliki kadar leptin yang lebih tinggi dan terbukti merupakan faktor permisif dalam memicu pulsilitas LH.³²

Beberapa bukti mendukung keterkaitan hormon dalam regulasi pertumbuhan dan perkembangan pubertas, status gizi dan keseimbangan energi. Seringkali, anak-anak yang mengalami obesitas memiliki tinggi badan lebih tinggi dibandingkan anak seusianya, dengan percepatan pertumbuhan linier dan pematangan tulang yang lanjut, serta cenderung menjadi dewasa lebih awal dibandingkan anak-anak kurus. Tren sekuler menuju penurunan usia pubertas yang berkorelasi dengan perubahan berat badan telah dilaporkan di negara-negara maju secara ekonomi. Hal ini disebabkan oleh kelebihan asupan kalori dan berkurangnya aktivitas fisik pada anak-anak.^{31,33}

Studi epidemiologis juga telah menunjukkan hubungan antara pubertas dini pada anak perempuan dengan IMT tinggi atau obesitas, sementara fenomena ini masih tidak konsisten pada anak laki-laki. Beberapa penelitian menemukan hubungan positif antara IMT dan permulaan pubertas lebih awal, sementara penelitian lain menunjukkan permulaan pubertas yang tertunda atau tidak ada hubungan yang signifikan pada anak laki-laki dengan obesitas.⁴⁰ Silventoinen, *et al* (2022) menunjukkan bahwa IMT yang lebih tinggi dikaitkan dengan waktu pubertas yang lebih dini.⁴¹ Berdasarkan penelitian yang membandingkan volume testis berdasarkan pengukuran USG dan orkidometer serta korelasi volume testis dengan status gizi, menunjukkan bahwa sebagian besar pasien memiliki berat badan kurang. Namun didapatkan status gizi tidak mempunyai hubungan dengan volume testis.³⁴

Berdasarkan latar belakang yang dijabarkan diatas, maka kami tertarik melakukan penelitian untuk mengetahui apakah terdapat korelasi antara

status gizi dengan tanda pubertas sekunder (*Tanner staging*) dan volume testis berdasarkan pemeriksaan USG pada anak usia 9-14 tahun.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut: apakah terdapat korelasi antara status gizi dengan tanda pubertas sekunder (*Tanner staging*) dan volume testis berdasarkan pemeriksaan USG pada anak usia 9-14 tahun?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Mengetahui korelasi antara status gizi dengan tanda pubertas sekunder (*Tanner staging*) dan volume testis berdasarkan pemeriksaan USG pada anak usia 9-14 tahun.

1.3.2 Tujuan Khusus

- a. Mengetahui korelasi usia dengan volume testis pada anak usia 9-14 tahun
- b. Mengetahui korelasi status gizi dengan volume testis pada anak usia 9-14 tahun
- c. Mengetahui korelasi status gizi dengan tanda pubertas sekunder pada anak usia 9-14 tahun
- d. Mengetahui korelasi tanda pubertas sekunder dengan volume testis pada anak usia 9-14 tahun

1.4 Hipotesis Penelitian

H1:

Terdapat korelasi antara status gizi dengan volume testis menggunakan USG dan tanda pubertas sekunder (berdasarkan *Tanner staging*) pada anak usia 9-14 tahun.

H0:

Tidak terdapat hubungan antara status gizi dengan volume testis dan tanda pubertas sekunder (berdasarkan *Tanner staging*) pada anak usia 9-14 tahun.

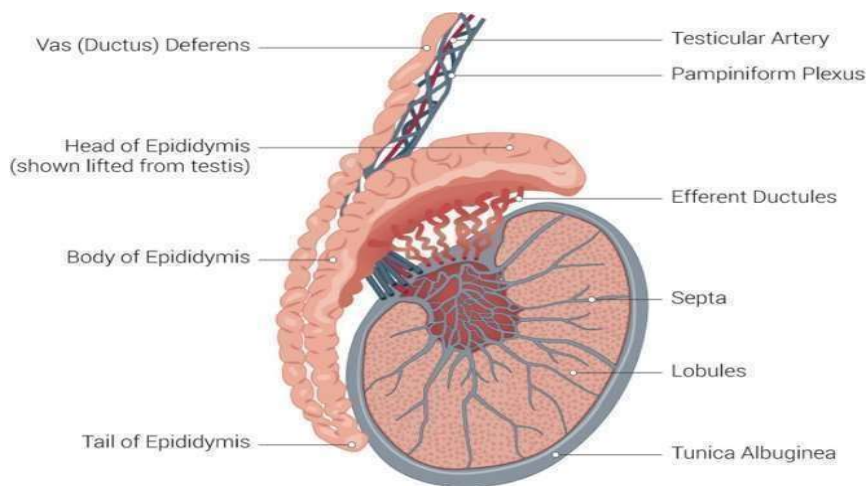
1.5 Manfaat Penelitian

- a. Memberikan informasi hubungan status gizi terhadap volume testis dan tanda pubertas sekunder pada anak laki-laki usia 9-14 tahun.
- b. Memberikan informasi volume testis berdasarkan status gizi dan tanda pubertas sekunder berdasarkan status gizi
- c. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pemilihan pemeriksaan untuk mendeteksi adanya hubungan status gizi pada organ reproduksi laki-laki terutama testis.
- d. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya yang meneliti volume testis, status gizi dan tanda pubertas pada anak laki-laki.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Gonad pria, atau dikenal sebagai testis adalah kelenjar seks yang memiliki fungsi sekretori dan eksokrin dalam produksi sperma dan fungsi endokrinologis sebagai bagian dari sumbu hipotalamus-hipofisis-gonad pada pria melalui produksi androgen. Anatomi testis yang normal adalah berbentuk oval yang terletak di dalam skrotum, selanjutnya dipisahkan oleh septum skrotum. Panjang testis antara 3 cm sampai 5 cm, sedangkan lebarnya antara 2 cm sampai 3 cm.^{3,4}



Gambar 1. Ilustrasi Testis ⁵

Konsistensi testis normal pada palpasi halus dan lembut. Testis digantung dibagian superior oleh korda spermatika dan di bagian inferior menempel pada skrotum oleh ligamen skrotum. Selama perkembangan embriologi, ligamentum skrotum juga dikenal sebagai gubernaculum.^{3,4} Tunika vaginalis adalah struktur berlapis ganda yang menutupi seluruh testis selain batas posterior dan superior, yang mewakili perlekatan epididimis dan korda spermatika. Testis lateral posterior mempunyai ruang kecil antara badan epididimis dan testis, dikenal sebagai sinus epididimis. Tunika albuginea terletak jauh di dalam tunika vaginalis. merupakan selubung berserat tebal yang menutupi testis.^{3,4}

Turunnya testis adalah proses bertahap yang kompleks yang

melibatkan interaksi antara banyak struktur anatomi, pengaruh lingkungan, regulasi hormone, dan faktor genetik.^{3,4} Ada model bifasik untuk penjelasan penurunan testis. Proses ini terbagi menjadi dua tahap yang berbeda secara morfologis dan hormonal. Fase transabdominal berlangsung pada minggu ke-8 hingga ke-15 dan fase inguino- skrotum berlangsung pada minggu ke-25 hingga ke-35 kehamilan.⁶

Fase penurunan testis transabdominal terdiri dari pergerakan testis dari posisi awalnya pada dinding abdomen posterior yang berdekatan dengan ginjal hingga ke cincin inguinalis interna. Fase ini bergantung pada hormon non- androgenik dan dimulai pada minggu kehamilan kedelapan. Antara minggu ke delapan dan ke lima belas kehamilan, gubernaculum membesar secara kausal, menyebabkan terbentuknya bulbus gubernacular, sedangkan antara minggu kehamilan 10 hingga 15, ligamen suspensori kranial mengalami regresi. Regresi ini merupakan langkah penting untuk penurunan testis, namun, regresi ligamen suspensori kranial saja tidak cukup untuk memulai penurunan gonad.⁶ Gubernaculum mengikat testis ke daerah inguinalis di masa depan dengan cara traksi. Gubernaculum memendek karena semakin menyatu dengan bohlam gubernakular. Pembesaran gubernaculum pada tahap transabdominal disebut dengan "reaksi pembengkakan gubernakular". Proliferasi sel dan deposisi matriks ekstraseluler menyebabkan pembesaran ekor gubernakulum. Pertumbuhan gubernaculum tidak bergantung pada androgen. Hormon mirip insulin Leydig (Insl3) adalah "faktor mirip relaksin" dan merupakan anggota keluarga protein relaksin. Ini berkontribusi pada tahap transabdominal penurunan testis melalui aktivasi reseptor berpasangan G-protein 8 (LGR8) yang kaya akan leusina.⁶

Tahap kedua penurunan testis (inguinoscrotal) dimulai pada minggu kehamilan ke-26. Tahap ini bergantung pada androgen dan terdiri dari perjalanan testis dari cincin inguinalis internal ke dalam skrotum. Tahap penurunan testis inguinoscrotal memiliki tahapan prasyarat tertentu, meliputi pembentukan prosesus vagina, pelebaran kanalis inguinalis oleh

bulbus gubernakular, dan tekanan abdomen untuk mendorong testis melalui kanalis inguinalis. Prosesus vaginalis merupakan herniasi peritoneum abdominal. Ini berkembang ketika gubernaculum memanjang ke arah ekor. Ketika prosesus vaginalis memasuki dinding perut bagian ekor, perkembangan kanalis inguinalis dimulai. Setelah penurunan testis selesai, gubernaculum mengalami kemunduran, meninggalkan sisa perlekatan testo-skrotum. Kontraksi gubernaculum, bersama dengan tekanan intraabdomen, memfasilitasi pergerakan testis melalui kanalis inguinalis ke dalam skrotum. Pada sebagian besar janin, testis sudah turun ke skrotum pada minggu kehamilan ke-33. Sedangkan pada minggu kehamilan ke-25+4, hanya 7,7% testis yang sudah turun ke skrotum. Pada minggu kehamilan ke-27, hanya 12,5% testis yang turun ke skrotum. Oleh karena itu saat lahir, testis akan berada di dalam skrotum, dan disarankan bagi dokter untuk rutin memeriksa skrotum bayi baru lahir untuk memastikan turunnya testis.⁶

Ada dua fungsi utama testis yakni produksi androgen endokrin dan produksi spermatozoa eksokrin. Fungsi endokrin testis berada di bawah kendali neuroendokrin. Produksi hormon pelepas gonadotropin (GnRH) oleh hipotalamus anterior merangsang produksi hormon luteinizing (LH) dan hormon perangsang folikel (FSH) di hipofisis anterior. LH dan FSH berikatan dengan reseptor yang terdapat pada sel Sertoli dan Leydig. Hormon luteinizing merangsang sel Leydig untuk memproduksi testosteron, sedangkan FSH merangsang sel Sertoli untuk memproduksi protein pengikat androgen (ABPs) seiring dengan regulasi spermatogenesis.⁷

Penilaian alat kelamin luar merupakan bagian penting dari pemeriksaan fisik pada anak laki-laki. Kelainan ukuran penis dan volume testis dapat diketahui melalui pemeriksaan genital, dan hal ini dapat berhasil ditangani dengan pemeriksaan penunjang yang cepat. Sekitar 90% volume testis terdiri dari tubulus seminiferus dan sel germinal, sedangkan jaringan testis terdiri dari sel Sertoli. Penurunan jumlah sel ini diwujudkan dengan penurunan volume testis.⁸

Ukuran testis berkorelasi baik dengan kualitas spermatogenesis dan hubungan antara volume testis dan kualitas air mani pada pasien dewasa infertil telah diketahui. Volume testis dianggap sangat berguna dalam evaluasi beberapa masalah seperti akibat kriptorkismus dan orkidopeksi, varikokel, perkembangan testis abnormal, torsio testis, dan sindrom Klinefelter pada remaja dan dewasa muda. Saat lahir, defisiensi androgen dan perkembangan alat kelamin abnormal pada laki-laki berhubungan erat dengan volume testis, sehingga penting untuk menentukan volume testis normal karena testis janin mengeluarkan testosteron yang diperlukan untuk virilisasi dan kelanjutan pertumbuhan penis.⁸

Palpasi testis dan penggunaan orkidometer Prader sangat penting untuk penilaian yang akurat. Orkidometer Prader adalah kumpulan ellipsoid 3-D dengan volume mulai dari 1 hingga 25 mL. Terdapat perbedaan antara nilai volume testis yang diukur dengan metode ini pada individu yang sama. Perbedaan ini disebabkan oleh ukuran tetap dari manik-manik yang digunakan dalam orkidometri prader sehingga sulit untuk memperkirakan volume di antara dua manik-manik yang berurutan dan selain itu, epididimis, tunika vaginalis, fascia spermatica, dan struktur lain di sekitar testis juga disertakan saat orkidometri prader digunakan untuk mengukur volume testis.^{8,9}



Gambar 2. Orkidometer Prader.⁹

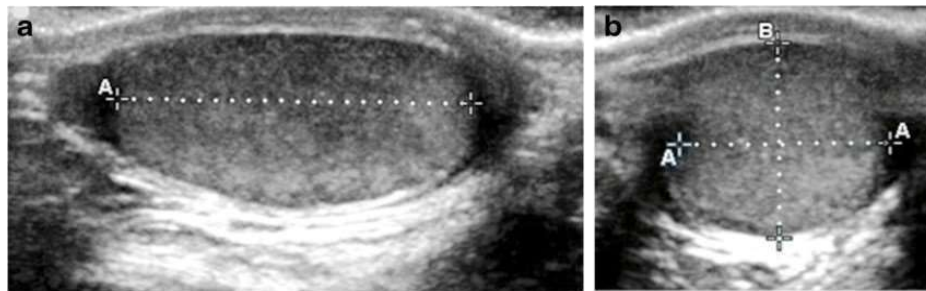
Pengukuran volume testis umumnya dilakukan pada pasien rawat jalan, dan beberapa metode telah digunakan dan dibandingkan pada orang dewasa. Pemeriksaan ini berkisar dari Orkidometri prader, metode paling populer yang digunakan dalam praktik klinis tetapi tidak terlalu akurat, hingga ultrasonografi yang lebih akurat dan penggunaan penggaris pada orang dewasa yang cukup murah dan mudah digunakan. USG testis dan skrotum adalah modalitas utama untuk pencitraan sebagian besar sistem reproduksi pria. Hal ini relatif cepat, relatif murah, dapat dikorelasikan dengan cepat dengan tanda dan gejala pasien, dan yang paling penting, tidak menggunakan radiasi pengion.^{8,10}

Ultrasonography (USG) adalah metode pencitraan standar emas untuk pemeriksaan skrotum dan digunakan secara luas untuk menilai berbagai masalah skrotum. USG merupakan alat diagnostik yang sederhana, murah, cepat, dan tidak berbahaya yang mampu memberikan gambaran dari skrotum. USG alat yang baik dan dapat diandalkan untuk evaluasi volume testis. USG adalah metode yang memberikan pengukuran yang obyektif, dapat direproduksi dan akurat. Beberapa parameter yang dapat diukur pada USG yaitu volume testis, bentuk testis dan echogenitas testis.^{11,12}

USG skrotum dapat memainkan peran diagnostik yang menentukan dalam berbagai kondisi patologis, dan berbahaya, yang mungkin muncul selama masabayi, masa kanak-kanak, dan masa pubertas, dengan pencitraan *gray scale* USG dan Doppler warna yang memberikan informasi berguna dalam penilaian morfologi dan fungsi testis. USG skrotum adalah standar emas dalam menilai volume testis yang cenderung lebih-lebihkan oleh orkidometer Prader.¹³

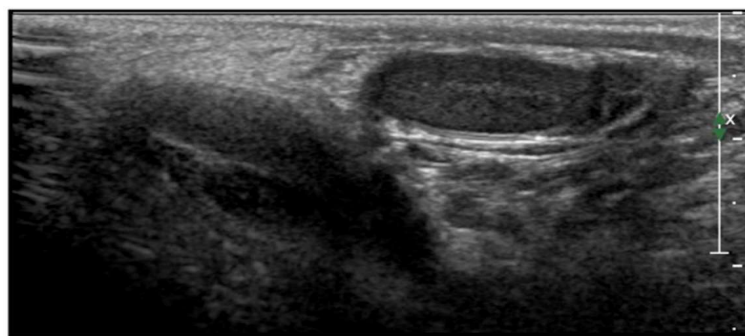
Echo tekstur testis normal terdiri dari echo tingkat menengah yang terdistribusi secara homogen, disebut tekstur echo homogen. Sebaliknya, adanya area dengan perubahan echogenisitas, sebagian besar hipoechoic, yang dapat bersifat halus, fokus atau menyebar, disebut inhomogenitas testis (atau tekstur gema inhomogen). Echogenisitas testikular menyerupai

echogenisitas kelenjar tiroid normal dan secara keseluruhan sebagian besar bergantung pada pematangan tubulus seminiferus dan kandungan sel germinal testis, dengan testis prapubertas biasanya hipoekoik dibandingkan dengan orang dewasa.¹⁴



Gambar 3. USG testis pada anak laki-laki berusia 12 tahun menggunakan probelinier 15-6 MHz; (a) panjang diukur pada pandangan sagital dan (b) lebar dan kedalaman dari pandangan transversal.¹⁵

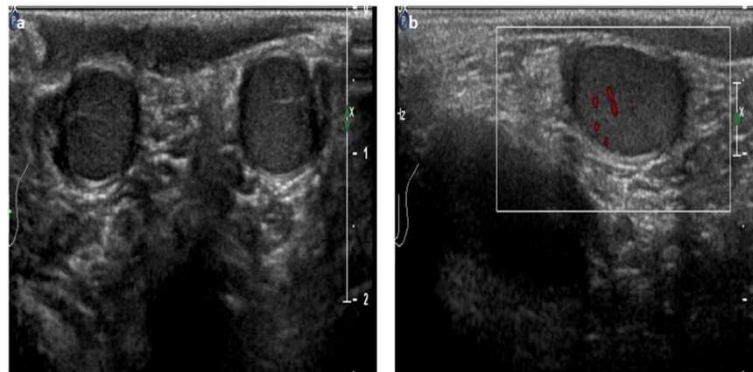
Selama masa pubertas kecil, volume testis meningkat. Peningkatan ini tidak mudah dideteksi dengan palpasi sederhana, namun memerlukan penggunaan USG skrotum, yang memungkinkan penentuan karakteristik USG normal selama periode ini. Pada fase ini, testis sering tampak simetris, berukuran sama (kira-kira 0,5-1,5 mL), dan homogen, namun lebih hipoekoik dibandingkan testis dewasa karena tubulus seminiferus yang belum matang.¹⁶



Gambar 4. Gambar USG testis pria normal selama masa mini pubertas menggunakan probe linier frekuensi tinggi (12 MHz). Selama fase kehidupan ini, testis tampak simetris, berukuran sama (kira-kira 0,5–1,5 mL), dan homogen, tetapi juga lebih hipoekoik dibandingkan testis dewasa. Mediastinum tampak jelas dan cenderung hiperekoik.

Setelah mini pubertas, sumbu *Hypothalamic–Pituitary–Gonadal* (HPG) tetap diam sepanjang masa kanak-kanak melalui mekanisme yang belum diketahui, dan satu-satunya hormon yang masih terdeteksi adalah

AMH dan inhibin B. USG Scrotal memberikan informasi penting mengenai gonad bahkan selama masa kanak-kanak ketika aspek ekografinya sangat mirip dengan pubertas kecil, dengan satu-satunya perbedaan adalah volumenya sedikit lebih besar (rata-rata 1,5–2 mL).¹⁶

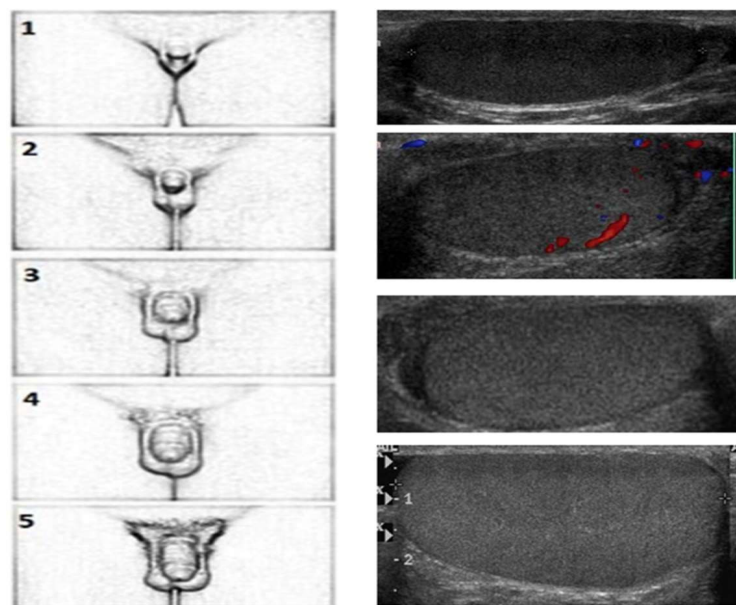


Gambar 5. Gambar USG testis pria normal selama masa kanak-kanak menggunakan probe linier frekuensi tinggi (12 MHz). (A) Testis tampak simetris, berukuran sama (kira-kira 1,5–2 mL) dan homogen. (B) Peningkatan awal sinyal Doppler.¹⁶

Setelah periode ini, sumbu HPG diaktifkan kembali oleh stimulasi Kisspeptin pada neuron hipotalamus yang mensekresi GnRH, sehingga mendorong timbulnya sekresi FSH dan LH. Pada laki-laki, tanda awal pubertas adalah tercapainya volume testis sebesar 4 mL karena efek trofik FSH pada kompartemen sertolian yang belum matang. Sebaliknya, LH menstimulasi kompartemen Leydig, sehingga terjadi peningkatan dalam testosteron intratestis, yang menyebabkan pematangan sel Sertoli. Pematangan ini ditandai dengan hilangnya kapasitas mitosis, berkembangnya sawar darah-testis, dan penurunan regulasi produksi AMH. Akhirnya, semua perubahan hormonal ini menginduksi permulaan meiosis sel germinal, dengan peningkatan tubulus seminiferus dan akibatnya, testis. volume. Selama masa pubertas, ciri-ciri seksual sekunder muncul, dan perkembangannya dari waktu ke waktu diwakili oleh tahapan pubertas Tanner (G1– G5). Selama perkembangan tahapan Tanner, testis mengalami modifikasi besar yang dapat dilihat melalui USG. Selain peningkatan volume, perubahan echogenisitas terbesar ditunjukkan oleh peningkatan echogenisitas parenkim, yang cenderung memperoleh

reflektansi lebih besar seiring dengan peningkatan jumlah tubulus seminiferus.¹⁷

USG Doppler memungkinkan penilaian aliran darah pada testis normal dan struktur sekitarnya. Aliran gonad lebih lambat selama pra-pubertas dibandingkan selama pasca-pubertas, dan secara bertahap cenderung meningkat dan berhenti dari pinggiran di dalam gonad seiring dengan perkembangan tahap pubertas. Dalam perspektif ini, peningkatan aliran darah merupakan indikasi tambahan pematangan gonad. Gambar 4 menunjukkan perkembangan klinis tahap pubertas, dari G1 ke G5, dengan modifikasi AS terkait.¹⁶



Gambar 6. Perkembangan klinis tahap pubertas dari G1 ke G5 dengan modifikasi USG terkait. Peningkatan volume dan ekogenisitas dapat diamati seiring dengan kemajuan tahap pubertas dan pematangan tubulus seminiferus.¹⁶

Kebutuhan nutrisi individu sehat bergantung pada berbagai faktor, seperti usia, jenis kelamin, dan aktivitas. Nilai asupan makanan yang direkomendasikan bervariasi untuk setiap kelompok individu. Ketidakseimbangan asupan nutrisi menyebabkan malnutrisi. Istilah malnutrisi digunakan dalam konteks kekurangan asupan energi atau defisiensi zat gizi, yang membahas dua kondisi utama, yaitu marasmus dan

kwashiorkor. Marasmus terutama mengacu pada kekurangan energi atau kalori, sedangkan kwashiorkor mengacu pada kekurangan protein yang ditandai dengan edema perifer.¹⁸

Namun, istilah malnutrisi kini mencakup kondisi yang disebabkan oleh kekurangan dan kelebihan asupan zat gizi makro dan zat gizi mikro. Sesuai pedoman WHO, malnutrisi mencakup tiga kategori, yaitu:¹⁹

- a. Kurang gizi (berat badan rendah menurut tinggi badan, rendah tinggi badan menurut umur, dan rendah berat badan menurut umur)
- b. Kekurangan atau kelebihan zat gizi mikro (vitamin dan mineral)
- c. Kelebihan gizi (kelebihan berat badan, obesitas, dan kondisi kesehatan terkait pola makan lainnya seperti diabetes melitus tipe 2, gangguan kardiovaskular, dll).

Penilaian secara antropometri paling sering digunakan untuk menilai status gizi individu. Kategori status gizi berbeda tergantung indeks yang digunakan untuk menentukan status gizi, terutama dengan metode antropometri. Indeks yang berbeda dapat digunakan disesuaikan dengan usia dan parameter antropometri yang digunakan. Antropometri adalah cara yang digunakan untuk mengukur dimensi badan dan komposisi tubuh kita. Parameter yang sering digunakan adalah berat badan (BB) dan tinggi badan (TB), tidak hanya itu dalam kondisi khusus BB dan TB dapat diukur menggunakan pendekatan parameter lain seperti lingkar pinggang, lingkar pinggul, tinggi lutut, termasuk lingkar kepala untuk bayi dan balita. Parameter yang digunakan untuk penilaian antropometri pada anak adalah berat badan, tinggi badan, dan umur. Terdapat 4 indeks antropometri yang digunakan untuk menilai status gizi anak. Setiap indeks memiliki indikator yang berbeda. Indikator status gizi digunakan untuk menggambarkan status gizi seseorang.²⁰

BB diukur menggunakan timbangan. Parameter ini disebut sebagai parameter yang sangat labil. Hal ini karena BB selalu dapat berubah-ubah. Oleh karena itu BB lebih akurat menggambarkan keadaan status gizi saat ini. BB menggambarkan gambaran massa tubuh masa tubuh seseorang

yang dapat berubah sewaktu-waktu.²⁰

Tabel 1. Kategori dan Indikator Status Gizi Berdasarkan Indeks BB/U.²¹

Kategori Status Gizi	Indikator (Z-Score)
BB sangat kurang (<i>severely underweight</i>)	Kurang dari -3 SD
BB kurang (<i>underweight</i>)	Antara -3SD s.d kurang dari -2 SD
BB normal	Antara - 2SD s.d +1 SD
Risiko BB lebih	Lebih dari +1 SD

Panjang/Tinggi Badan menurut Umur (PB/U atau TB/U): Indeks PB/U atau TB/U memperlihatkan pertumbuhan skeletal dan status gizi masa di masa lampau. TB anak akan bertambah sejalan dengan penambahan meningkatnya umur, oleh karena itu kurang sensitif untuk mengukur kekurangan gizi jangka pendek. Menurut Supariasa et.al (2017), defisiensi zat gizi terhadap TB dapat terdeteksi untuk waktu yang lama.²²

Tabel 2. Kategori dan Indikator Status Gizi Berdasarkan Indeks PB/U atau TB/U.²¹

Kategori Status Gizi	Indikator (Z-Score)
Sangat pendek (<i>severely stunted</i>)	Kurang dari -3 SD
Pendek (<i>stunted</i>)	Antara -3SD s.d kurang dari -2 SD
Normal	Antara - 2SD s.d +3 SD
Tinggi	Lebih dari +1 SD

Berat Badan menurut Panjang/Tinggi Badan (BB/PB atau BB/TB): Dalam keadaan normal, BB akan berbanding lurus dengan pertumbuhan TB/PB. Menurut Supariasa et.al (2017), BB/PB atau BB/TB merupakan indikator yang baik untuk menilai status gizi. Dapat juga digunakan untuk menilai masalah gizi yang bersifat akut.²²

Tabel 3. Kategori dan Indikator Status Gizi Berdasarkan Indeks BB/PB atau BB/TB.²¹

Kategori Status Gizi	Indikator (Z-Score)
Gizi buruk (<i>severely wasted</i>)	Kurang dari -3 SD
Gizi kurang (<i>wasted</i>)	Antara -3SD s.d kurang dari -2 SD
Gizi baik (normal)	Antara - 2SD s.d +1 SD
Berisiko gizi lebih (<i>possible risk of overweight</i>)	Lebih dari +1 SD s.d +2 SD
Gizi lebih (<i>overweight</i>)	Lebih dari + 2 SD s.d +3 SD
Obesitas (<i>obese</i>)	Lebih dari +3 SD

Indeks massa tubuh (IMT) adalah metode penilaian status gizi yang paling populer dan umum. IMT tidak rumit dalam hal perhitungan; namun,

metode ini memiliki kelemahan tertentu, terutama metode ini tidak memberikan informasi apapun tentang komposisi massa tubuh (lemak tubuh, jaringan otot, dan kandungan air). Oleh karena itu, hasil yang menunjukkan kelebihan berat badan atau obesitas pada individu dengan otot yang sangat berkembang seringkali tidak tepat. Pada kasus anak-anak, interpretasi IMT sangat sulit karena pesatnya pertumbuhan dan perkembangan tubuh. Untuk membandingkan nilai IMT dengan normal, disarankan untuk mempertimbangkan standar deviasi BMI z-score, usia, dan jenis kelamin.²³

Tabel 4. Kategori dan Indikator Status Gizi Berdasarkan Indeks IMT/U untuk Usia 5-18 Tahun.²¹

Kategori Status Gizi	Indikator (Z-Score)
Gizi buruk (<i>severely thinness</i>);	Kurang dari -3 SD
Gizi kurang (<i>thinness</i>);	Antara -3 SD s.d kurang dari -2 SD
Gizi baik (<i>normal</i>);	Antara -2 SD s.d +1 SD
Gizi lebih (<i>overweight</i>); dan	Antara +1 SD s.d +2 SD
Obesitas (<i>obese</i>)	Lebih dari +2 SD

Menurut World Health Organization (WHO), remaja ialah mereka yang berusia 10 hingga 19 tahun. Dari data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2021, tercatat jumlah remaja di Indonesia mencapai 17 persen dari total penduduk 270 juta jiwa atau sekitar 46 juta jiwa. Pubertas merupakan salah satu fase utama yang terjadi pada masa remaja. Berbagai perubahan terjadi pada masa pubertas diantaranya perubahan hormonal, fisik, psikologis maupun sosial. Pubertas ditandai sebagai titik akhir masa kanak-kanak dan awal masa remaja. Semua perubahan fisiologis dan neurologis merupakan fase penting dalam perkembangan manusia, transisi dari masa kanak-kanak ke masa dewasa.^{24,25}

Tanda pubertas pada anak merupakan tanda perkembangan organ reproduksi pada anak menjadi dewasa. Tahap awal pubertas adalah peningkatan volume testis (lebih dari 3 ml), diikuti dengan penipisan skrotum, pertumbuhan penis, perkembangan rambut kemaluan, dan terakhir, lonjakan pertumbuhan linier. Indikator awal pubertas sejati pada anak laki-laki adalah pembesaran testis dengan volume minimal 4 mL atau

panjang 2,5 cm, yang terjadi pada usia rata-rata 11,6 tahun (dengan kisaran 9,5 hingga 14 tahun). Durasi pubertas anak laki-laki rata-rata selama 3 tahun dengan jangka waktu sekitar 2-5 tahun.²⁴

Ciri-ciri tanda pubertas sekunder adalah ciri-ciri yang dipengaruhi oleh hormon yang dikeluarkan pada masa pubertas. Pertumbuhan rambut di wajah berupa janggut dan kumis, pertumbuhan testis, pertumbuhan rambut kemaluan di pangkal penis biasanya terjadi bersamaan dengan perkembangan testis. Rambut kemaluan awalnya tampak tipis, lurus, dan tipis; kemudian menjadi lebih gelap, lebih keriting, dan lebih tebal seiring dengan perkembangan pubertas, pertumbuhan penis terjadi setelah pembesaran testis, massa otot yang lebih berat, perkembangan jakun dan laring menjadi lebih besar sehingga menghasilkan suara yang lebih dalam.²⁶

Secara fisiologis, pubertas adalah peristiwa jangka pendek (berlangsung selama beberapa minggu) pada sistem saraf pusat, yang memulai kembali umpan balik positif dalam poros hipotalamus-hipofisis-gonad/*hypothalamic-pituitary-gonadal* (HPG) dan mendorong pematangan seksual. Pubertas juga didefinisikan secara sosial, yaitu periode waktu ketika perkembangan seksual dan perilaku serta emosi terkait sedang berlangsung.¹¹

Pubertas yang terjadi lebih awal, yaitu sebelum usia 8 tahun disebut dengan pubertas prekoks dan dikatakan terlambat bila terjadi setelah usia 14 tahun. Pada pubertas prekoks, pelepasan GnRH terjadi lebih awal sehingga terjadi peningkatan kadar gonadotropin dan steroid seksual, perkembangan karakteristik seksual sekunder, percepatan usia tulang, pengurangan tinggi tubuh saat dewasa.¹²

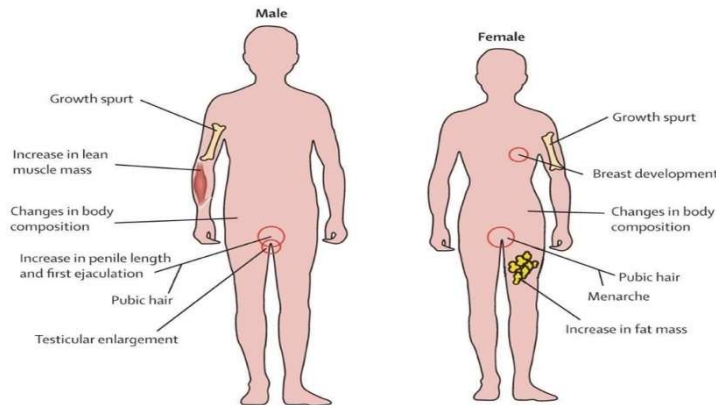
Reproduksi bergantung pada penyatuan gamet jantan dan betina (sel reproduksi, atau sel germinal), masing-masing dengan setengah set kromosom, untuk membentuk individu baru dengan set kromosom yang lengkap dan unik. Tidak seperti sistem tubuh lainnya, yang pada dasarnya identik pada kedua jenis kelamin, sistem reproduksi laki-laki dan perempuan

sangat berbeda, sesuai dengan peran mereka yang berbeda dalam proses reproduksi. Sistem reproduksi laki-laki dan perempuan dirancang untuk memungkinkan penyatuan materi genetik dari dua pasangan seksual, dan sistem reproduksi perempuan diperlengkapi untuk menampung dan memberi makan keturunannya hingga titik perkembangan sehingga dapat bertahan hidup secara mandiri dalam lingkungan. lingkungan luar.¹⁴ Secara umum, karakteristik seksual ditandai dengan adanya karakteristik seksual primer dan sekunder.¹⁴

Pada tanda seksual primer, organ reproduksi primer, atau gonad, terdiri dari sepasang testis pada laki-laki dan sepasang ovarium pada perempuan. Pada kedua jenis kelamin, gonad yang matang menjalankan fungsi ganda yaitu (1) memproduksi gamet (gametogenesis), yaitu spermatozoa (sperma) pada jantan dan ovum (telur) pada betina; dan (2) mengeluarkan hormon seks, khususnya testosteron pada laki-laki serta estrogen dan progesteron pada perempuan.¹⁴ Tanda seksual primer merupakan perubahan pada organ reproduksi. Pada laki-laki, hal ini mencakup pertumbuhan testis, penis, skrotum, dan spermatogenesis atau ejakulasi dini. Tanda ini terjadi antara usia 11 hingga 15 tahun. Pada perempuan, tanda utamanya meliputi pertumbuhan rahim dan menarche atau menstruasi pertama. Gamet betina, yang disimpan di ovarium, sudah ada sejak lahir, namun belum matang. Setiap ovarium mengandung sekitar 400.000 gamet, namun hanya 500 yang akan menjadi telur matang. Mulai saat pubertas, satu sel telur matang dan dilepaskan setiap 28 hari selama siklus menstruasi. Stres dan persentase lemak tubuh yang lebih tinggi dapat menyebabkan menstruasi pada usia lebih muda.⁵

Pada tanda seksual sekunder adalah banyaknya ciri-ciri eksternal yang tidak terlibat langsung dalam reproduksi yang membedakan jantan dan betina, seperti konfigurasi tubuh dan distribusi rambut. Pada manusia, misalnya, laki-laki memiliki bahu yang lebih lebar, sedangkan perempuan memiliki pinggul yang lebih melengkung, dan laki-laki memiliki janggut, sedangkan perempuan tidak. Testosteron pada pria dan estrogen pada

wanita mengatur perkembangan dan pemeliharaan karakteristik ini. Progesteron tidak berpengaruh pada karakteristik seksual sekunder.¹⁴



Gambar 7. Perubahan fisik dan ciri-ciri seksual sekunder yang muncul pada masa perkembangan pubertas.

Proses pubertas dimulai pada usia enam dan delapan tahun dengan fase awal adrenarche, aktifnya kelenjar adrenal. Adrenarche memiliki sedikit tanda fenotipik pada sebagian besar anak, namun semakin banyak bukti yang menunjukkan bahwa androgen adrenal dapat berkontribusi pada perkembangan struktural dan fungsional otak dan perilaku terkait pada masa remaja. Waktu terjadinya adrenarche mempengaruhi risiko masalah kesehatan mental dan berbagai masalah masalah cardio metabolik. Indeks massa tubuh (IMT) dikaitkan dengan androgen adrenal, anak- anak yang menunjukkan adrenarche prematur diketahui memiliki tingkat insulin dan resistensi insulin yang lebih tinggi serta kecenderungan terhadap IMT yang berlebih.²⁷

I		3	<2.5
II		4	2.5-3.2
III		10	3.6
IV		16	4.1-4.5
V		25	>4.5

Gambar 8. Tanner Staging Anak Laki-laki¹⁷

Fase pubertas yang kedua adalah gonadarche, proses pematangan seksual dan pencapaian kapasitas reproduksi. Produksi steroid gonad merangsang pertumbuhan dan perkembangan ciri-ciri seksual sekunder yang juga memicu perkembangan di semua sistem organ, termasuk sistem saraf pusat. Sistem endokrin lainnya menjadi matang selama masa pubertas, termasuk hormon pertumbuhan dan tiroid. Marshall dan Tanner (1968) mengembangkan sistem untuk mengidentifikasi tahapan tanda-tanda eksternal pubertas. Perubahan eksternal paling awal—kuncup payudara pada anak perempuan dan pembesaran testis pada anak laki-laki biasanya muncul sekitar usia 11 tahun, namun bervariasi antar individu. Meskipun usia gonadarche pada anak laki-laki sama, perubahan awal ini lebih terlihat pada anak perempuan. Menarche, permulaan periode menstruasi, biasanya terjadi pada akhir masa pubertas, kira-kira dua tahun setelah payudara mulai tumbuh. Meskipun menstruasi tampaknya menandakan kematangan reproduksi pada anak perempuan, hal ini sebagian besar menandakan kematangan rahim karena periode awal menstruasi tidak teratur dan anak perempuan jarang mengalami masa subur segera setelah menarche.²⁷ *Tanner stage* 1 menunjukkan pertumbuhan dan perkembangan prepubertas, sementara *stage* 2 sampai 5 menunjukkan progresivitas pubertas. Kematangan seksual sempurna ditunjukkan pada *stage* 5. Tingkat kematangan seksual meningkat seiring dengan pertumbuhan, perubahan hormon, berat dan komposisi tubuh. *Stage* 3 sampai dengan *stage* 5 perkembangan payudara perempuan menurut Tanner.¹⁰ Pada laki-laki, permulaan pubertas berkisar antara usia 9 hingga 14 tahun. Ciri seksual sekunder pertama yang terlihat adalah *gonadarche* ketika volume testis mencapai lebih besar atau sama dengan 4 mL (atau sumbu panjang lebih besar atau sama dengan 2,5 cm) dan memasuki *tanner stage* 2.

Selama perkembangan genital *Tanner stage* 3, laki-laki mengalami puncak kecepatan tinggi. *Spermarche*, yang merupakan kebalikan dari *menarche* pada perempuan. Perkembangan sperma pada pria dan

biasanya terjadi selama tahap *Tanner stage 4*.¹⁸

Tabel 5. Tahap Pertumbuhan dan Perkembangan Karakteristik Seksual Sekunder Berdasarkan *Tanner Staging*¹⁰

Stage	Perempuan		Laki-Laki	
	Perkembangan Payudara	Pertumbuhan Rambut Pubis	Perkembangan Genital	Pertumbuhan Rambut Pubis
1	Prapubertas; hanya elevasi puting	Prapubertas; tidak ada rambut kemaluan	Prapubertas; tidak ada perubahan ukuran atau proporsi testis, skrotum dan penis sejak usia dini Pembesaran skrotum dan testis;	Prapubertas; tidak ada rambut kemaluan
2	Kuncup payudara kecil dan terangkat	Pertumbuhan rambut yang jarang di sepanjang labia	kemerahan dan perubahan tekstur pada kulit skrotum; sedikit atau tidak ada pembesaran penis	Jarang tumbuhnya rambut di pangkal penis
3	Pembesaran payudara dan areola	Pigmentasi, pengerasan dan pengeritingan, dengan peningkatan jumlahnya	Penis tambah panjang terlebih dahulu, lalu melebar; pertumbuhan testis dan skrotum Pembesaran penis dengan pertumbuhan luas dan perkembangan kelenjar; pertumbuhan lebih lanjut testis dan skrotum, penggelapan kulit skrotum	Menggelap, mengeras dan mengeriting, bertambah jumlahnya
4	Pembesaran lebih lanjut dengan proyeksi aerola dan puting susu	Rambut menyerupai tipe dewasa, namun tidak menyebar hingga medial paha		Rambut menyerupai tipe dewasa, namun tidak menyebar hingga medial paha
5	Kontur dewasa, dengan aerola yang konturnya sama dengan payudara, dan hanya putingnya yang menonjol	Jenis dan jumlah dewasa, menyebar ke medial paha	Alat kelamin dewasa ukuran dan bentuk	Jenis dan jumlah dewasa, menyebar ke medial paha

Perkembangan pria selama masa pubertas.^{28,29}

1. Ukuran testis : Peningkatan ukuran testis biasanya merupakan tanda awal pubertas pada anak laki-laki. Testis bertambah besar selama masa pubertas karena perkembangan tubulus seminiferus. Peningkatan LH merangsang sintesis testosteron oleh sel Leydig, sedangkan peningkatan FSH merangsang produksi sperma oleh sel Sertoli. Ukuran testis meningkat selama masa pubertas hingga tahap Tanner 4, pada saat diameter dan volume longitudinal dewasa tercapai. Peningkatan ukuran testis menyebabkan kulit skrotum menjadi lebih tipis dan warnanya lebih gelap. Laki-laki biasanya mengalami ejakulasi pertama kira-kira satu tahun setelah testis mulai tumbuh. Namun, ejakulasi pertama tidak secara otomatis menandakan kemampuan untuk bereproduksi. Rata-rata kesuburan dicapai satu tahun setelah ejakulasi pertama.
2. Pubarche : Pertumbuhan rambut kemaluan di pangkal penis biasanya terjadi bersamaan dengan perkembangan testis. Rambut kemaluan awalnya tampak tipis, lurus dan tipis; kemudian menjadi lebih gelap, lebih keriting, dan lebih tebal seiring berjalannya masa pubertas. Kira-kira dua tahun setelah timbulnya pubarche, rambut ketiak, dada, dan wajah mulai tumbuh.
3. Ukuran penis : Pertumbuhan penis terjadi setelah pembesaran testis. Penis bertambah panjang, kemudian lebar, dan kepala penis serta korpus kavernosum juga membesar. Pubertas umumnya selesai dalam waktu dua sampai empat tahun setelah gonadarche, namun perubahan lain termasuk pola lemak dan otot berlanjut hingga masa remaja. Waktu pubertas sebagian ditentukan oleh faktor genetik, namun faktor intrauterin, nutrisi, faktor keluarga, stres, dan kondisi sosial ekonomi juga berperan.²⁷

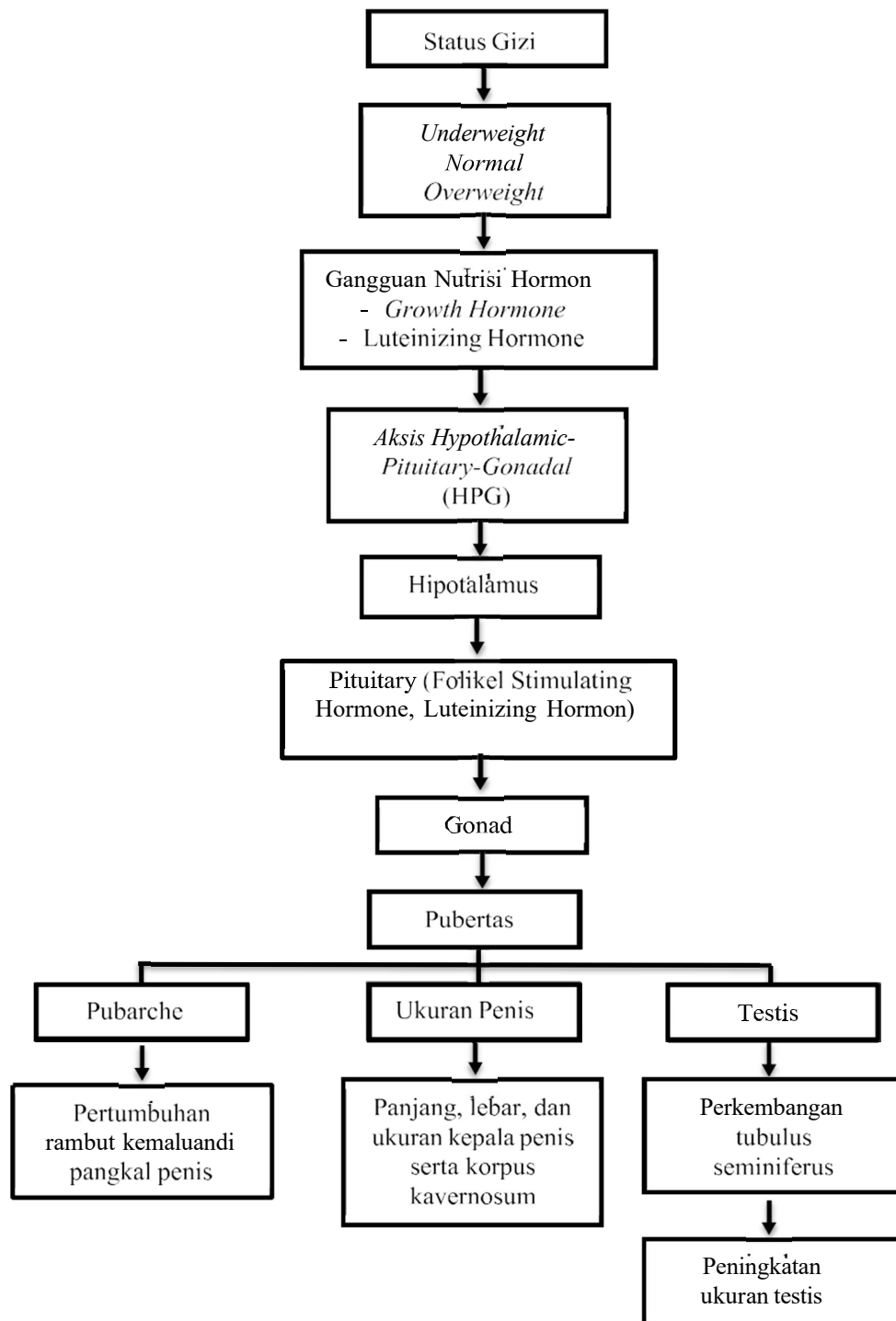
Beberapa penelitian yang menghubungkan volume testis berdasarkan pemeriksaan USG dengan status gizi dan dengan tanda pubertas sekunder adalah sebagai berikut:

Referensi	Subjek	Metode Penelitian	Hasil
Mulyadi et al., 2023 ⁴⁰	23 anak laki-laki dengan thalassemia dengan status gizi baik dan kurang	<i>Cross sectional</i>	Penderita thalassemia sebagian besar memiliki berat badan kurang, dan status gizi tidak memiliki hubungan dengan volume testis. Ultrasonografi, dibandingkan dengan orkidometer, lebih baik untuk mengukur volume testis.
Schäfer et al., 2024 ³⁵	30 anak laki-laki dengan usia 11,1 hingga 16,8 tahun dengan IMT 16.3–45.7 kg/m ²	Kohort prospektif	Pada kelompok tidak obesitas (persentil BMI < 90%) dan obesitas (persentil BMI ≥ 90%) memiliki hubungan dengan volume testis (p=0,0084).
Lee et al., 2024 ³⁶	1.499 pasien laki-laki berusia antara 2 dan 18 tahun	Retrospektif dengan pendekatan <i>cross sectional</i>	Penelitian ini menegaskan bahwa memiliki Indeks Massa Tubuh (IMT) yang lebih tinggi selama masa anak-anak berdampak negatif pada panjang penis. Namun, tidak ada hubungan yang signifikan antara Indeks Massa Tubuh (IMT) dengan volume testis.

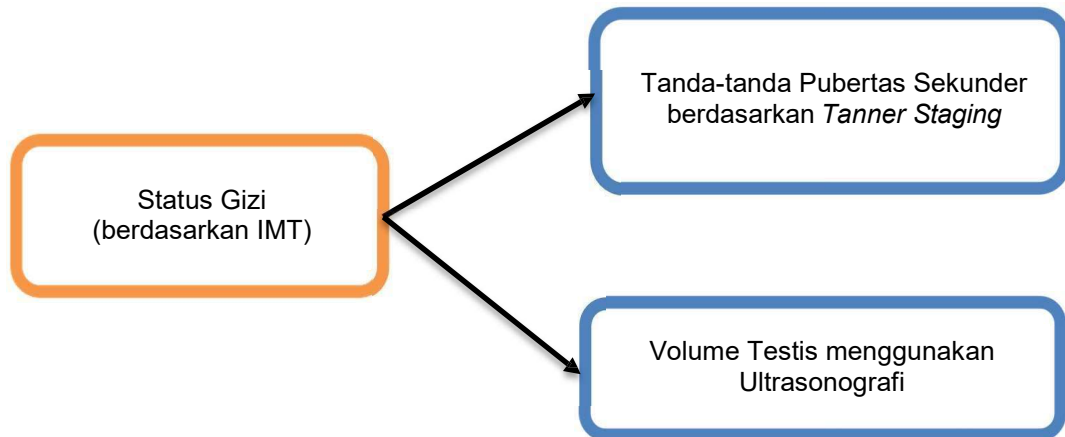
BAB III

KERANGKA PENELITIAN

3.1 Kerangka Teori



3.2 Kerangka Konsep



Keterangan:

 : Variabel Independen

 : Variabel Dependen