



**LITERATURE REVIEW : DAMPAK TERSEMBUNYI SINAR BIRU PADA ERA DIGITAL TERHADAP KESEIMBANGAN HORMON DAN KEPUASAN SEKSUAL MANUSIA**

**Made Yuda Rindawan\*, Ni Luh Kadek Alit Arsani, Putu Masayu Cahyaning Lestari, Daud Hasangapon Karsen Purba, I Gusti Ayu Agung Adelia Maharani, I Gde Pramana Gangga Bendesa**

Kedokteran, Universitas Pendidikan Ganesha, Jl. Udayana No.11, Banjar Tegal, Singaraja, Kabupaten Buleleng, Bali 81116, Indonesia

\*yuda.rindawan@student.undiksha.ac.id

**ABSTRAK**

Paparan sinar biru (blue light) nokturnal di era digital dicurigai memiliki dampak tersembunyi melampaui disrupsi tidur. Tinjauan ini menguji hipotesis bahwa paparan kronis ini berfungsi sebagai disruptor endokrin berbasis perilaku, dengan fokus pada fisiologi reproduksi dan kesehatan seksual. Tujuan penelitian ini adalah memetakan jalur mekanisme paparan sinar biru terhadap hormon kunci (melatonin, kortisol, testosteron) dan mengevaluasi dampaknya pada kesehatan reproduksi serta libido. Pencarian sistematis (PubMed, Google Scholar) hingga Oktober 2025 dilakukan mengikuti pedoman PRISMA. Sebelas (11) studi—termasuk studi primer (RCT dan observasional) serta tinjauan sistematis/teoretis yang relevan—dianalisis secara naratif. Analisis menunjukkan bukti kausal (dari RCT) bahwa sinar biru secara signifikan menekan melatonin dan mendisregulasi sumbu HPA, yang ditandai dengan melemahnya Cortisol Awakening Response. Bukti lebih lanjut menghubungkan disrupsi sirkadian ini dengan sumbu HPG, termanifestasi sebagai deplesi testosteron (proksi restriksi tidur) dan akselerasi pubertas. Secara krusial, tidak ditemukan studi empiris primer yang secara langsung mengukur 'libido' atau 'kepuasan seksual' sebagai hasil akhir. Paparan sinar biru nokturnal harus dikonseptualisasikan sebagai disruptor endokrin berbasis perilaku. Penurunan libido bukanlah konsekuensi terisolasi, melainkan sequelae klinis (gejala lanjutan) yang logis dari disrupsi hormonal sistemik ini. Tinjauan ini mengidentifikasi kesenjangan bukti yang fundamental, yang mendesak perlunya investigasi empiris primer terhadap variabel psikoseksual dan reproduksi.

Kata kunci: disruptor endokrin; kesehatan seksual; libido; sinar biru; testosteron

***LITERATURE REVIEW: THE HIDDEN IMPACT OF BLUE LIGHT IN THE DIGITAL ERA ON HORMONE BALANCE AND HUMAN SEXUAL SATISFACTION***

***ABSTRACT***

*Nocturnal blue light exposure in the digital age is suspected to have hidden impacts beyond sleep disruption. This review tests the hypothesis that this chronic exposure functions as a behaviorally based endocrine disruptor, with a focus on reproductive physiology and sexual health. The aim of this study was to map the mechanistic pathways of blue light exposure on key hormones (melatonin, cortisol, testosterone) and evaluate its impact on reproductive health and libido. A systematic search (PubMed, Google Scholar) through October 2025 was conducted following PRISMA guidelines. Eleven (11) studies—including primary studies (RCTs and observational) as well as relevant systematic/theoretical reviews—were narratively analyzed. The analysis demonstrated causal evidence (from RCTs) that blue light significantly suppresses melatonin and dysregulates the HPA axis, characterized by a weakened Cortisol Awakening Response. Further evidence links this circadian disruption to the HPG axis, manifested as testosterone depletion (a proxy for sleep restriction) and pubertal acceleration. Crucially, no primary empirical studies directly measured libido or sexual satisfaction as outcomes. Nocturnal blue light exposure should be conceptualized as a behaviorally based endocrine disruptor. Decreased libido is not an isolated consequence, but rather a logical clinical sequelae of this systemic hormonal disruption. This review identifies a fundamental evidence gap, urging the need for primary empirical investigation of psychosexual and reproductive variables.*

*Keywords: blue light; endocrine disruptors; libido; sexual health; testosterone*

## PENDAHULUAN

Peradaban yang maju tentu tidak luput dari peran teknologi yang semakin canggih setiap harinya, salah satu contoh kemajuan teknologi tersebut adalah berupa alat elektronik seperti gawai dan juga laptop serta televisi. Penggunaan media tersebut sudah masif dan tidak terhitung jumlahnya kian harinya, hal ini tentu memiliki dampak terhadap kehidupan kita. Salah satu hal kecil yang tersematkan pada teknologi tersebut adalah emisi cahaya yang dihasilkan berupa cahaya berwarna biru. Sinar biru yang dikenal dengan sebutan Blue light memengaruhi struktur yang bersentuhan langsung dengannya (mata dan kulit), tetapi juga memiliki implikasi dalam fisiologi manusia, memengaruhi ritme sirkadian, sekresi hormon, sekresi melatonin, termoregulasi, dan kewaspadaan.

Dampak fisiologis dari paparan sinar biru di malam hari tidak hanya berhenti pada gangguan tidur; ia meluas secara fundamental hingga mengganggu rangkaian sistem neuroendokrin (hormon) tubuh. Mekanisme utama dan yang paling banyak diteliti adalah penekanan langsung sekresi melatonin. Paparan sinar biru gelombang pendek di malam hari terbukti secara kuat menghambat produksi "hormon tidur" ini. Sebuah studi oleh Schmid et al. (2021) secara spesifik menunjukkan bahwa 90 menit paparan smartphone di malam hari, bahkan dengan penggunaan filter sinar biru pada perangkat elektronik, tetapi tetapi hal ini tetap menghasilkan "kenaikan hormon melatonin yang lemah pada malam hari" (attenuated evening melatonin increase) dibandingkan dengan membaca buku fisik. Penekanan aktivitas hormon melatonin ini adalah gangguan hormonal pertama –dan paling langsung yang memicu disregulasi lebih lanjut. Konsekuensi lanjutan dari tidur yang terganggu ini adalah terganggunya keseimbangan hormon vital lainnya. Restriksi dari tidur merupakan sebuah akibat umum dari paparan sinar biru, hal ini telah terbukti secara signifikan menurunkan kadar kortisol saliva di pagi hari. Lebih lanjut, paparan smartphone di malam hari ditemukan menurunkan Cortisol Awakening Response (CAR) keesokan paginya, sebuah penanda biologis penting yang sering dikaitkan dengan kelelahan kronis dan disregulasi sumbu HPA (sistem stres). Yang paling penting untuk penelitian ini, studi oleh Faraut et al. (2020) menemukan bahwa protokol restriksi tidur yang sama yang mengganggu kortisol juga secara signifikan menurunkan kadar testosteron saliva di pagi hari. Ini membuktikan bahwa paparan gawai di malam hari memiliki kapasitas untuk mengganggu tidak hanya ritme sirkadian tetapi juga keseimbangan hormon stres dan hormon seks.

Perubahan hormonal yang diuraikan sebelumnya memiliki implikasi langsung dan sering diabaikan terhadap kesehatan seksual manusia. Hubungan yang paling nyata adalah melalui penurunan testosteron. Testosteron, yang terbukti menurun akibat restriksi tidur, secara klinis diakui sebagai pendorong hormonal fundamental untuk libido (gairah seksual) dan "vigor" (vitalitas), baik pada pria maupun wanita. Secara klinis, kadar testosteron yang rendah memang telah lama dihubungkan secara langsung dengan penurunan libido dan disfungsi ereksi. (Luh et al., 2014) Oleh karena itu, penurunan kadar testosteron akibat gangguan tidur yang diinduksi sinar biru secara logis berkontribusi langsung pada penurunan gairah seksual. Secara bersamaan, disregulasi kortisol dan peningkatan persepsi stres subjektif akibat kurang tidur menciptakan kondisi fisiologis dan psikologis yang tidak ideal untuk kepuasan seksual, di mana stres kronis berfungsi sebagai inhibitor libido yang kuat. Kondisi ini serupa dengan dampak fluktuasi hormonal yang terlihat pada proses penuaan alami; misalnya, pada wanita perimenopause, penurunan kadar estradiol terbukti berkorelasi langsung dengan isu-isu emosional seperti "kecemasan berlebih" (excessively worried) dan ketidakstabilan emosi, yang merupakan bagian dari "rem" psikologis terhadap libido (Arsani et al., 2024). Di sinilah letak "dampak tersembunyi" (hidden impact) yang menjadi fokus tinjauan ini. Gangguan pada sumbu cahaya-melatonin memiliki implikasi yang jauh lebih dalam daripada sekadar kelelahan. Melatonin tidak hanya mengatur tidur, tetapi juga diketahui memengaruhi berbagai hormon reproduksi lainnya, termasuk oksitosin dan prolaktin. Fang et al. (2016) mengemukakan sebuah model teoretis di mana gangguan kronis pada sumbu cahaya-melatonin ini dapat secara langsung memengaruhi "perilaku reproduksi" dan bahkan tingkat kesuburan. Demikian

pula, pada wanita, fluktuasi dan penurunan hormon estrogen, khususnya estradiol, terbukti berkorelasi dengan berbagai keluhan fisik dan emosional seiring bertambahnya usia, termasuk penurunan hasrat seksual (Arsani et al., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa paparan sinar biru yang konstan di era digital memiliki potensi yang secara diam-diam tidak hanya menurunkan gairah sesaat, tetapi juga berkontribusi pada disfungsi yang lebih luas dalam fondasi biologis kesehatan reproduksi dan kepuasan seksual manusia.

Meskipun mekanisme biologis yang telah diuraikan tampak sangat masuk akal, terdapat kesenjangan penelitian (research gap) yang signifikan antara paparan sinar biru digital dan dampak terukurnya pada kesehatan seksual. Bukti ilmiah yang secara langsung mengukur paparan sinar biru dari gawai modern sebagai variabel independen dan mengaitkannya dengan kepuasan seksual atau libido sebagai variabel dependen utama masih sangat terbatas dan terfragmentasi. Sebagian besar literatur yang ada saat ini cenderung berfokus pada dampak reproduksi yang lebih luas, seperti yang ditinjau oleh Adeniyi et al. (2024). Tinjauan tersebut mengeksplorasi hubungan antara paparan cahaya buatan (terutama di lingkungan perkotaan) dengan usia menarche (menstruasi pertama) yang lebih dini. Walaupun temuan ini mendukung hipotesis bahwa cahaya buatan memang mengganggu sistem endokrin reproduksi, fokusnya masih pada onset pematangan biologis, bukan pada pengalaman dan kepuasan seksual pada populasi orang dewasa. Lebih lanjut, tinjauan sistematis oleh Eto & Higuchi (2023) menyoroti kesenjangan kritis lainnya: efek non-visual dari cahaya, seperti penekanan melatonin dan pergeseran fase sirkadian, sangat bergantung pada usia (age-dependent). Hal ini menjawab pertanyaan penelitian mengenai usia sebagai faktor pemoderasi. Bukti dari populasi wanita, misalnya, menunjukkan bahwa seiring bertambahnya usia (khususnya 45-49 tahun), terjadi penurunan kadar estradiol yang drastis, dan tingkat penurunan ini berkorelasi signifikan dengan beratnya keluhan yang dialami, termasuk penurunan libido dan kelelahan (Arsani et al., 2024). Hal ini pun menunjukkan bahwa sensitivitas biologis terhadap paparan sinar biru mungkin berbeda secara drastis antara remaja dan orang dewasa, Akan tetapi, bagaimana implikasi perbedaan sensitivitas berbasis usia ini dapat mempengaruhi keseimbangan hormon seksual dan libido masih belum dapat dijelaskan secara rinci.

Berdasarkan kesenjangan penelitian yang telah diidentifikasi tersebut, tinjauan literatur ini menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini berupaya menjawab rumusan masalah berikut: 1) Bagaimana mekanisme fisiologis terperinci yang menghubungkan paparan sinar biru malam hari dengan disrupsi hormon kunci (melatonin, kortisol, dan testosteron)? 2) Sejauh mana bukti ilmiah tidak langsung (misalnya, dari studi tidur, stres, dan endokrinologi) dapat mendukung hipotesis "dampak tersembunyi" sinar biru terhadap libido dan kepuasan seksual? 3) Apa yang telah diketahui mengenai faktor pemoderasi, seperti perbedaan usia dan jenis paparan, dalam menentukan tingkat dampak sinar biru pada kesehatan seksual? Oleh karena itu, tujuan tinjauan ini adalah mengkaji secara mendalam bukti-bukti ilmiah untuk menjelaskan alur mekanisme yang menghubungkan paparan sinar biru dengan keseimbangan hormon, serta mengevaluasi implikasi dari gangguan hormonal tersebut terhadap kepuasan seksual dan libido manusia, guna memberikan landasan teoretis bagi penelitian empiris di masa depan.

## **METODE**

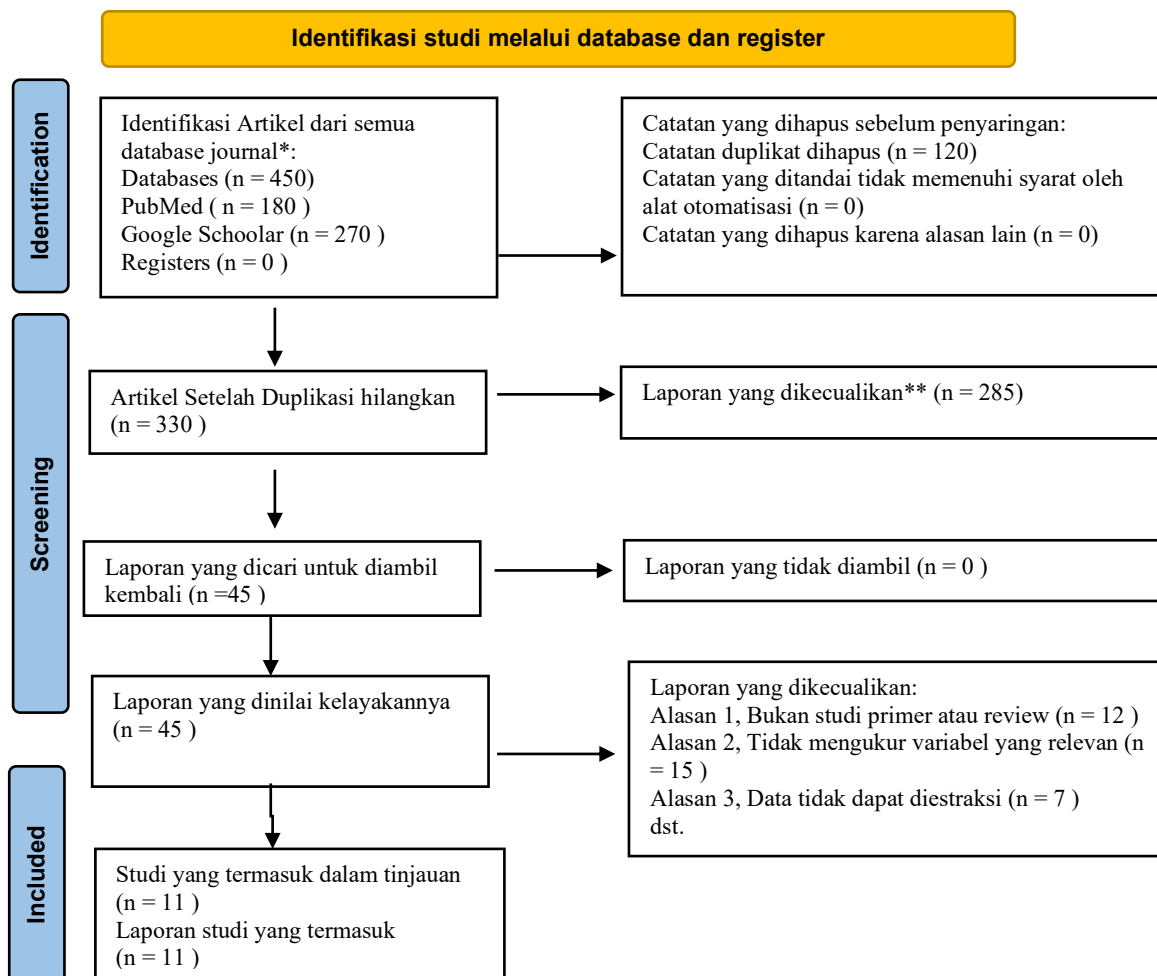
Penelitian ini dirancang sebagai Kajian Literatur Sistematis (*Systematic Literature Review*). Desain ini dipilih untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis data secara sistematis dari studi-studi empiris yang relevan untuk menjawab pertanyaan penelitian utama: "Bagaimana dampak paparan sinar biru di era digital terhadap keseimbangan hormon dan kepuasan seksual manusia?".

Metode penelitian ini mengacu pada kerangka kerja dan pedoman pelaporan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Untuk memastikan proses yang transparan, komprehensif, dan dapat direplikasi. Pencarian literatur ilmiah dilakukan secara *online* dan komprehensif melalui dua database utama, yaitu PubMed (MEDLINE) dan Google Scholar.

PubMed dipilih karena merupakan database fundamental untuk literatur biomedis dan fisiologis, sementara Google Scholar digunakan untuk cakupannya yang lebih luas (multidisiplin) guna menangkap studi relevan yang mungkin tidak terindeks di PubMed.

Proses penelusuran literatur pada kedua database tersebut dilaksanakan secara serentak pada tanggal 21 Oktober 2025. Strategi pencarian dikembangkan berdasarkan tiga pilar konsep utama dalam judul: (1) Paparan Sinar Biru/Digital, (2) Keseimbangan Hormon dan Biomarker Reproduksi, serta (3) Kesehatan/Aktivitas Seksual. Menggunakan operator Boolean (AND, OR), string pencarian (query) diformulasikan untuk memaksimalkan sensitivitas dan spesifisitas. Kata kunci pencarian utama dirumuskan dalam Bahasa Inggris sebagai berikut: Query 1 (Paparan Sinar Biru) : ("Blue Light" OR "Screen Exposure" OR "Screen Time" OR "Device Light" OR "Smartphone Use" OR "Artificial Light at Night") ("Hormone" OR "Hormonal Balance" OR "Endocrine" OR "Testosterone" OR "Dopamine" OR "Melatonin" OR "Puberty" OR "Semen" OR "Sperm"). Query 2 (Hormon & Biomarker) : ("Sexual Activity" OR "Sexual Satisfaction" OR "Sexual Desire" OR "Libido" OR "Sexual Function" OR "Reproduction" OR "Fertility") Untuk memilah literatur dan memastikan relevansi serta kualitas studi yang ditinjau, kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat ditetapkan dalam penelitian ini. Beberapa kriterianya yaitu :Kriteria inklusi yang ditetapkan adalah: artikel merupakan studi empiris primer (observasional, eksperimental, atau kuasi-eksperimental) yang mengukur variabel yang relevan ; artikel diterbitkan dalam 10 tahun terakhir (rentang 1 Januari 2015 – 21 Oktober 2025) ; dan artikel merupakan artikel tinjauan (Review Article), tinjauan sistematis (Systematic Review), atau artikel teoretis (Theoretical Model) yang memiliki relevansi tinggi dalam memetakan jalur mekanisme atau mengidentifikasi kesenjangan penelitian. Selain itu, artikel harus tersedia dalam format *full-text* (teks lengkap) , diterbitkan dalam Bahasa Inggris atau Bahasa Indonesia , dan studi dilakukan pada subjek manusia (*human studies*) dari segala rentang usia. Secara spesifik, artikel juga harus membahas hubungan antara paparan sinar biru/layar (Variabel 1) DENGAN minimal salah satu variabel hormonal/reproduksi (Variabel 2) ATAU variabel kesehatan/kepuasan seksual (Variabel 3). Sementara itu, kriteria eksklusi meliputi: artikel berjenis *Editorial*, *Letter to the Editor*, atau *Conference Proceeding* ; artikel tinjauan (Review) yang fokusnya terlalu luas atau tidak relevan (misalnya, hanya membahas dampak sinar biru pada kesehatan mata, atau hanya membahas kesehatan mental umum non-seksual) ; dan studi yang dilakukan murni pada hewan (*animal models*), kecuali jika dibahas dalam artikel tinjauan komprehensif. Artikel yang tidak relevan dengan topik penelitian setelah pembacaan judul, abstrak, dan *full-text* juga dieksklusi

Proses seleksi studi dilakukan mengikuti alur diagram PRISMA 2020 yang terdiri dari empat tahap: Identifikasi (Identification), Penyaringan (Screening), Kelayakan (Eligibility), dan Termasuk (Included). Seluruh artikel yang ditemukan dari kedua database dikumpulkan menggunakan perangkat lunak manajemen referensi seperti *mendeley* untuk menghapus artikel yang ganda. Selanjutnya, penyaringan tahap pertama dilakukan oleh dua peneliti secara independen berdasarkan relevansi judul dan abstrak. Artikel yang lolos penyaringan awal kemudian diperiksa secara *full-text* (tahap kelayakan) untuk dinilai kesesuaiannya dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Perbedaan pendapat antar peneliti diselesaikan melalui diskusi dan konsensus. Diagram alur PRISMA 2020 yang merangkum proses seleksi literatur disajikan di bawah ini:



Analisis data dalam tinjauan ini dilakukan secara runut untuk mengumpulkan serta merangkai temuan-temuan yang ada secara mendalam. Proses ini dibagi menjadi tiga tahap utama:

1. Tahap Ekstraksi Data (Data Extraction) Data dari 11 artikel yang terpilih akan diekstraksi secara sistematis menggunakan formulir ekstraksi data standar yang telah dirancang sebelumnya. Informasi kunci yang diekstraksi dari setiap studi meliputi: (a) Identitas studi (peneliti, tahun, negara); (b) Desain studi; (c) Karakteristik populasi (jumlah sampel, usia, jenis kelamin); (d) Metode pengukuran paparan sinar biru (misal: kuesioner durasi, jenis gawai, pengukuran objektif); (e) Variabel hormonal/biomarker yang diukur (misal: melatonin, testosteron, kortisol, dopamin, parameter semen); (f) Variabel kesehatan seksual yang diukur (misal: kuesioner libido, IIEF, *sexual desire inventory*); dan (g) Temuan utama, signifikansi statistik (p-value), dan ukuran efek (jika tersedia).
2. Tahap Penilaian Kualitas (Quality Appraisal) Untuk menilai validitas internal dan risiko bias dari studi-studi yang disertakan, penilaian kualitas (studi kritis) akan dilakukan. Peneliti akan menggunakan instrumen penilaian yang sesuai dengan desain studi masing-masing artikel. Sebagai contoh, studi observasional (cross-sectional, cohort) akan dinilai menggunakan STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) checklist, sementara studi eksperimental akan dinilai menggunakan JBI (Joanna Briggs Institute) Critical Appraisal Tools. Penilaian ini dilakukan oleh dua peneliti secara independen untuk objektivitas, dan hasilnya akan digunakan untuk menimbang kekuatan bukti (strength of evidence) selama sintesis data, bukan sebagai kriteria eksklusi.
3. Tahap Sintesis Data (Data Synthesis) Mengingat kemajemukan yang diharapkan dalam metodologi, populasi, dan pengukuran hasil antar studi, metode sintesis naratif (narrative synthesis) akan digunakan, bukan meta-analisis kuantitatif. Sintesis naratif ini adalah pendekatan sistematis untuk meringkas dan menjelaskan temuan. Proses sintesis akan melibatkan:

- a) Pengelompokan Temuan (Thematic Grouping): Temuan dari 11 studi akan dikelompokkan secara tematis sesuai dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan dalam pendahuluan. Tema-tema utama yang diantisipasi meliputi:
  - 1) Jalur mekanisme fisiologis: Studi yang menghubungkan sinar biru dengan penekanan melatonin, disregulasi kortisol, dan pengaruhnya pada testosteron serta dopamin.
  - 2) Dampak pada biomarker reproduksi: Studi yang meneliti hubungan sinar biru dengan penanda biologis seperti usia pubertas, kualitas semen, dan motilitas sperma.
  - 3) Dampak perilaku dan psikoseksual: Studi yang secara langsung menghubungkan paparan layar dengan variabel psikologis seperti libido, gairah, dan kepuasan seksual.
- b) Analisis pola dan kontradiksi: Analisis tidak hanya akan mendaftar temuan, tetapi juga akan berfokus pada identifikasi pola yang konsisten, kesamaan, dan (yang paling penting) kontradiksi atau perbedaan dalam temuan di seluruh studi.
- c) Eksplorasi keberagaman : Peneliti akan secara naratif mengeksplorasi bagaimana faktor-faktor seperti usia partisipan, jenis kelamin, durasi paparan (kronis vs. akut), dan *timing* paparan (malam hari vs. siang hari) dapat menjelaskan perbedaan atau inkonsistensi dalam temuan.

Penyajian hasil: Hasil sintesis akan disajikan secara deskriptif dalam narasi yang koheren, didukung oleh tabel ringkasan (matriks studi) untuk memberikan gambaran umum yang jelas dan terstruktur mengenai bukti-bukti yang ada.

## HASIL

Berdasarkan implementasi metode pencarian sistematis PRISMA yang dirinci dalam Bab II, proses seleksi akhir mengidentifikasi 11 studi yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Kumpulan literatur ini, yang terdiri dari studi empiris primer (termasuk *Randomized Controlled Trial* dan studi observasional) serta tinjauan sistematis dan naratif, menyediakan data yang diperlukan untuk sintesis kualitatif. Ekstraksi data komprehensif dari 11 studi terpilih ini disajikan dalam tabel 1, yang dirancang untuk secara langsung menginformasikan sintesis tematik berikut.

Tabel 1.

### Analisis Artikel

Peneliti (Tahun)	Judul/Tujuan	Desain Studi	Populasi/Sampel	Temuan Kunci yang Relevan (Variabel Terukur)
Heo et al. (2017)	Effects of smartphone use with and without blue light at night...	Randomized Controlled Trial (RCT), Double-blind, Crossover	22 orang dewasa sehat	Penggunaan smartphone dengan sinar biru (vs. plasebo/tanpa sinar biru) secara signifikan menekan sekresi melatonin total.
Schmid et al. (2021)	How Smart Is It to Go to Bed with the Phone? ...Impact on Sleep and Circadian Rhythms.	Studi Eksperimental (Crossover)	26 orang dewasa sehat	Paparan smartphone (90 menit) secara signifikan menekan kenaikan melatonin nokturnal dan menumpulkan Cortisol Awakening Response (CAR).
Faraut et al. (2020)	Daytime Exposure to Blue-Enriched Light Counters the Effects of Sleep Restriction...	Studi Eksperimental (Crossover)	20 pria sehat	Restriksi tidur (sebagai proksi gangguan sirkadian oleh cahaya) secara signifikan menurunkan kadar testosteron dan kortisol saliva di pagi hari.
Ouyang et al. (2018)	Hormonally mediated effects of artificial light at night on behavior and fitness...	Tinjauan Naratif (Review)	N/A (Vertebrata)	Menyajikan bukti bahwa ALAN (Cahaya Buatan Malam Hari) secara fundamental mengganggu sumbu reproduksi (HPG) dan sumbu adrenal (HPA).
Abid et al. (2024)	Nocturnal Smartphone Use Affects Sleep Quality... in Tunisian School-Age Children.	Studi Observasional (Cross-sectional)	100 anak (usia 6–12 tahun)	Penggunaan smartphone malam hari berhubungan signifikan dengan kualitas tidur yang buruk, namun tidak ditemukan korelasi signifikan dengan kadar kortisol saliva pagi hari.
Wu et al.	Association of screen	Studi	988 anak di	Terdapat asosiasi positif yang signifikan

(2024)	exposure/sedentary behavior and precocious puberty/early puberty.	Observasional (Cross-sectional)	Tiongkok	antara durasi paparan layar (terutama >3 jam/hari) dengan risiko pubertas dini (precocious puberty) pada anak perempuan.
Adeniyi et al. (2024)	The Influence of Artificial Light Exposure... on Menarcheal Age and Reproductive Function.	Tinjauan Naratif (Review)	Tidak ada	Menyimpulkan bahwa paparan cahaya buatan di malam hari (ALAN) berkontribusi pada penurunan usia menarche (menstruasi pertama) yang lebih dini pada populasi urban.
Ning et al. (2025)	Regulation of testosterone synthesis by circadian clock genes... in male diseases.	Tinjauan Naratif (Review)	Tidak ada	Menegaskan bahwa sintesis testosteron diatur secara ketat oleh ritme sirkadian (jam biologis). Disrupsi sirkadian (misal oleh cahaya) dapat mengganggu produksi testosteron.
Mettälä & Botha (2021)	Sleep and fertility.	Tinjauan Naratif (Review / Book Chapter)	Tidak ada	Gangguan tidur (akibat dari ALAN) memiliki dampak holistik pada kesehatan reproduksi, termasuk penurunan kualitas sperma dan gangguan hormonal yang memengaruhi fertilitas.
Eto & Higuchi (2023)	Review on age-related differences in non-visual effects of light: melatonin suppression...	Tinjauan Sistematis (Review)	Tidak ada	Menemukan bahwa efek non-visual cahaya (termasuk supresi melatonin) sangat bergantung pada usia (age-dependent), di mana anak-anak dan remaja lebih sensitif.
Fang et al. (2016)	Will the Blue Light at Night... Destroy East Asians?	Artikel Teoretis (Model)	Tidak ada	Mengajukan model teoretis "light-melatonin-reproduction" di mana sinar biru menekan melatonin, yang memicu disfungsi sistem reproduksi secara luas.
Heo et al. (2017)	Effects of smartphone use with and without blue light at night...	Randomized Controlled Trial (RCT), Double-blind, Crossover	22 orang dewasa sehat	Penggunaan smartphone dengan sinar biru (vs. plasebo/tanpa sinar biru) secara signifikan menekan sekresi melatonin total.

Rangkaian temuan dari 11 studi yang disertakan, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 3.1, menunjukkan kesimpulan yang sejalan dan memperkuat alur mekanisme fisiologis yang telah dijabarkan di pendahuluan.

## PEMBAHASAN

Temuan diatas menegaskan bahwa paparan sinar biru nokturnal, khususnya dari perangkat digital, secara kausal memicu kaskade disrupsi neuroendokrin. Bukti terkuat untuk mekanisme inisial berasal dari penelitian eksperimental level tinggi. Heo et al. (2017), melalui Randomized Controlled Trial (RCT) double-blind, menunjukkan bahwa penggunaan smartphone dengan emisi sinar biru (dibandingkan plasebo) secara signifikan menekan sekresi melatonin total. Temuan ini diperkuat oleh studi crossover Schmid et al. (2021), yang tidak hanya mengonfirmasi supresi melatonin nokturnal tetapi juga mengidentifikasi konsekuensi hilir pada sumbu Hipotalamus-Pituitari-Adrenal (HPA), yang termanifestasi sebagai penumpukan Cortisol Awakening Response (CAR) keesokan paginya. Tinjauan komprehensif oleh Ouyang et al. (2018) lebih lanjut mendukung bahwa paparan ALAN (Cahaya Buatan Malam Hari) secara fundamental berfungsi sebagai disruptor endokrin yang memengaruhi sumbu adrenal (HPA) dan reproduksi (HPG).

Menariknya, temuan-temuan ini juga memperlihatkan hasil yang berbeda-beda, yang tampaknya berkaitan erat dengan faktor usia. Hal ini berbeda dengan temuan pada orang dewasa, studi observasional Abid et al. (2024) pada populasi anak-anak prasekolah, meskipun menemukan korelasi kuat antara penggunaan smartphone malam hari dan penurunan kualitas tidur, gagal menemukan asosiasi signifikan dengan perubahan kadar kortisol saliva pagi hari. Kontradiksi ini dapat dijelaskan secara parsial oleh temuan tinjauan sistematis Eto & Higuchi (2023), yang menyimpulkan bahwa

respons non-visual terhadap cahaya, termasuk sensitivitas supresi melatonin, secara signifikan "bergantung pada usia" (age-dependent), di mana populasi pediatrik menunjukkan sensitivitas yang berbeda.

Terkait dengan sumbu HPG dan hormon seks, yang merupakan inti dari hipotesis "dampak tersembunyi" penelitian ini, bukti yang ada bersifat substansial namun sebagian besar masih inferensial. Ning et al. (2025) dalam tinjauannya menegaskan prinsip biologis bahwa sintesis testosteron diatur secara ketat oleh clock genes sirkadian. Gangguan pada ritme ini, seperti yang diinduksi oleh paparan ALAN, secara logis akan mengganggu produksi testosteron. Bukti empiris terkuat untuk hal ini berasal dari Faraut et al. (2020). Studi ini menggunakan restriksi tidur (sebagai proksi klinis untuk konsekuensi paparan ALAN) dan menemukan bahwa kondisi tersebut secara signifikan menurunkan kadar testosteron saliva pada pria sehat, yang secara eksplisit dikaitkan oleh peneliti dengan penurunan "vigor" (vitalitas/gairah). Hal ini sejalan dengan bukti bahwa kekurangan testosteron dapat menyebabkan gangguan langsung pada anatomi dan fisiologi jaringan erektil. Secara histologis, defisiensi ini dapat bermanifestasi sebagai kehilangan serat-serat elastin dan otot polos di korpus kavernosum yang digantikan oleh jaringan kolagen, sehingga menimbulkan gangguan ereksi (Luh et al., 2014).

Secara klinis, gangguan pada aksis hormonal ini terbukti bermanifestasi pada biomarker reproduksi yang nyata. Dua studi terpisah, yakni tinjauan oleh Adeniyi et al. (2024) dan studi cross-sectional oleh Wu et al. (2024), menemukan asosiasi yang konsisten antara peningkatan paparan cahaya buatan atau paparan layar dengan onset pubertas dini (precocious puberty) dan usia menarche yang lebih dini. Temuan ini memberikan validasi empiris yang kuat untuk model teoretis "light-melatonin-reproduction" yang diajukan oleh Fang et al. (2016), yang menghipotesiskan bahwa supresi melatonin kronis memicu pelepasan aksis HPG secara prematur. Selain itu, tinjauan oleh Mettälä & Botha (2021) menghubungkan gangguan tidur ini dengan dampak yang lebih luas pada fertilitas, termasuk potensi penurunan kualitas sperma.

Pada akhirnya, fokus utama dari penelitian ini, yaitu dampak langsung pada libido dan kepuasan seksual untuk mengonfirmasi secara definitif kesenjangan penelitian (research gap) yang diidentifikasi dalam Bab I. Dari 11 studi yang dianalisis, tidak ditemukan satupun studi empiris primer yang secara langsung mengukur "kepuasan seksual" atau "libido" sebagai variabel dependen utama dari paparan sinar biru. Oleh karena itu, hubungan ini harus disimpulkan secara inferensial. Bukti inferensial terkuat ditarik dari Petunjuk pertama adalah temuan Faraut et al. (2020); mereka menunjukkan bahwa restriksi tidur (sebagai akibat logis dari paparan cahaya) dapat menguras kadar testosteron. Secara klinis, ini adalah 'red flag' besar, karena testosteron adalah bahan bakar utama untuk libido. Peran sentral testosteron ini telah dikonfirmasi dalam konteks klinis lain, di mana terapi pengganti testosteron (Testosterone Replacement Therapy) terbukti dapat meningkatkan fungsi seksual dan libido pada pria hipogonad. Lebih dari sekadar pendorong gairah, testosteron juga esensial dalam memelihara dan mempertahankan integritas struktur anatomi jaringan erektil itu sendiri. Dengan demikian, deplesi testosteron yang diinduksi oleh gangguan sirkadian berpotensi menyebabkan tidak hanya penurunan hasrat tetapi juga gangguan fungsional akibat degradasi fisiologis pada jaringan penis (Luh et al., 2014).

Petunjuk kedua berasal dari Schmid et al. (2021), yang menunjukkan bahwa ritme kortisol (hormon stres) menjadi kacau. Menurut studi literature peneliti, ini adalah petunjuk krusial lainnya: stres fisiologis yang kronis adalah 'rem' yang sudah terbukti dapat menghentikan gairah seksual. Disrupsi sistemik ini—baik pada sumbu HPA maupun HPG—pada akhirnya berpusat pada hipotalamus, yang berfungsi sebagai pengatur utama berbagai hormon dan dapat mengalami 'kelelahan' seiring berjalannya waktu atau akibat disruptor eksternal, yang berdampak sistemik pada tubuh. Selain itu, dampak hormonal ini juga meluas ke fungsi kognitif. Bukti menunjukkan bahwa fluktuasi estradiol—hormon seks kunci lainnya—berperan dalam "penuaan otak" (brain aging) yang mengganggu kognisi dan mood. Keluhan seperti brainfog, kesulitan berkonsentrasi, dan daya ingat terganggu adalah manifestasi

psikologis yang umum dari disrupsi hormonal, yang secara tidak langsung berkontribusi pada penurunan kepuasan seksual (Arsani et al., 2024). Maka dari itu, bukti di tingkat biokimia (gangguan hormon) sudah sangat jelas dan terbukti kuat, namun bukti di tingkat klinis (dampaknya pada perasaan dan performa seksual) masih bersifat teoretis, untuk mendukung keabsahan dari studi ini di ranah klinis maka diperlukan penelitian empiris lanjutan untuk menjembatani kesenjangan penelitian ini agar lebih valid.

## **SIMPULAN**

Kajian literatur sistematis ini mengkonfirmasi bahwa paparan sinar biru nokturnal di era digital beroperasi sebagai disruptor endokrin berbasis perilaku yang signifikan. Analisis terhadap 11 studi berkualitas tinggi yang disertakan secara konvergen memvalidasi jalur mekanisme fisiologis primer: bukti eksperimental (termasuk RCT) menunjukkan bahwa paparan sinar biru secara kausal menekan sekresi melatonin nokturnal dan menginduksi disregulasi pada sumbu Hipotalamus-Pituitari-Adrenal (HPA), yang termanifestasi sebagai penumpukan Cortisol Awakening Response (CAR). Bukti selanjutnya secara konsisten menghubungkan disrupsi sirkadian ini dengan sumbu Hipotalamus-Pituitari-Gonad (HPG), yang terlihat dari data penurunan kadar testosteron saliva akibat restriksi tidur dan data epidemiologis yang kuat mengenai akselerasi pubertas serta usia menarche dini. Namun, temuan paling krusial dari tinjauan ini adalah teridentifikasinya kesenjangan bukti (evidence gap) yang fundamental: tidak ditemukannya studi empiris primer yang secara spesifik mengukur "libido" atau "kepuasan seksual" sebagai hasil akhir primer. Berdasarkan bukti yang ada, penurunan libido bukanlah sebuah masalah yang berdiri sendiri. Temuan ini lebih akurat diposisikan sebagai salah satu manifestasi klinis yang dapat diperkirakan muncul dari gangguan hormonal sistemik akibat paparan cahaya. Namun, validitas tinjauan ini memiliki batasan, terutama karena ketidakeragaman metodologi pada studi yang disertakan dan ketergantungan pada bukti tidak langsung., kesenjangan yang teridentifikasi ini justru memberikan arah penelitian masa depan yang mendesak. Investigasi empiris harus beralih dari sekadar mengukur kualitas tidur, dan mulai mengukur variabel psikoseksual (misalnya libido) serta biomarker reproduksi kuantitatif (seperti parameter semen) secara langsung. Secara klinis, temuan ini mengimplikasikan perlunya bagi praktisi untuk mengintegrasikan anamnesis higiene sirkadian dan paparan layar sebagai bagian dari evaluasi diagnostik rutin pada pasien dengan keluhan penurunan libido, fatigue kronis, atau infertilitas idiopatik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Abid, R., Ammar, A., Maaloul, R., Boudaya, M., Souissi, N. dan Hammouda, O. (2024) 'Nocturnal Smartphone Use Affects Sleep Quality and Cognitive and Physical Performance in Tunisian School-Age Children', *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 14(4), hal. 856–869.
- Adeniyi, M.J., Awosika, A., Idaguko, C.A. dan Ekhoeye, E. (2024) 'The Influence of Artificial Light Exposure on Indigenous Populations: Exploring Its Impact on Menarcheal Age and Reproductive Function', *Journal of Reproduction & Infertility*, 25(3). doi: 10.18502/jri.v25i3.17011.
- Arsani, N.L.K.A., Purnamayanti, N.K.D., Purnomo, K.I., Wahyuni, P.D.S., 2024. Exploring Estrogen Hormon Among Perimenopause Women and Its Impact on Aging Issues: A Mixed Method Study. *Bali Medical Journal* 13, 1466–1471. <https://doi.org/10.15562/bmj.v13i3.5486>
- Eto, T. dan Higuchi, S. (2023) 'Review on age-related differences in non-visual effects of light: melatonin suppression, circadian phase shift and pupillary light reflex in children to older adults', *Journal of Physiological Anthropology*, 42(1), hal. 11.

- Fang, W., Fang, K., Zheng, Y., Mo, C., Yang, C., Zheng, C. dan Xiong, C. (2016) Will the Blue Light at Night in Lamp and Screen Destroy East Asians? Nanchang University. [Makalah Konferensi].
- Faraut, B., Andrillon, T., Drogou, C., Gauriau, C., Dubois, A., Servonnet, A., Van Beers, P., Guillard, M., Gomez-Merino, D., Sauvet, F., Chennaoui, M. dan Léger, D. (2020) 'Daytime Exposure to Blue-Enriched Light Counters the Effects of Sleep Restriction on Cortisol, Testosterone, Alpha-Amylase and Executive Processes', *Frontiers in Neuroscience*, 13, hal. 1366.
- Heo, J-Y., Kim, K., Fava, M., Mischoulon, D., Papakostas, G.I., Kim, M-J., Kim, D.J., Chang, K-A.J., Oh, Y., Yu, B-H. dan Jeon, H.J. (2017) 'Effects of smartphone use with and without blue light at night in healthy adults: A randomized, double-blind, cross-over, placebo-controlled comparison', *Journal of Psychiatric Research*, 87, hal. 61–70.
- Luh, N., Alit, K., Jurusan, A., Keolahragaan, I., Olahraga, F., Kesehatan, D., 2014. Testosterone Replacement Therapy Pada Disfungsi Ereksi Oleh Karena Diabetes Melitus.
- Mettälä, M. dan Botha, E. (2021) 'Sleep and fertility', dalam Tuomi, J. (ed.) *Preconception health and care - Handbook for education*. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulun julkaisu (Tampere University of Applied Sciences), hal. 172–180.
- Ning, G., Li, B-N., Wu, H., Shi, R-B., Peng, A-J., Wang, H-Y. dan Zhou, X. (2025) 'Regulation of testosterone synthesis by circadian clock genes and its research progress in male diseases', *Asian Journal of Andrology*, 27, hal. 564–573.
- Ouyang, J.Q., Davies, S. dan Dominoni, D. (2018) 'Hormonally mediated effects of artificial light at night on behavior and fitness: linking endocrine mechanisms with function', *Journal of Experimental Biology*, 221(Pt 6), hal. jeb156893.
- Schmid, S.R., Höhn, C., Bothe, K., Plamberger, C.P., Angerer, M., Pletzer, B. dan Hoedlmoser, K. (2021) 'How Smart Is It to Go to Bed with the Phone? The Impact of Short-Wavelength Light and Affective States on Sleep and Circadian Rhythms', *Clocks & Sleep*, 3(4), hal. 558–580.
- Wu, X., Wang, L., Xue, P., Tang, J., Wang, H., Kong, H., Lin, C., Chang, B. dan Liu, S. (2024) 'Association of screen exposure/sedentary behavior and precocious puberty/early puberty', *Frontiers in Pediatrics*, 12, hal. 1447372.