

METODE ESTIMASI UMUR UNTUK SPESIFIK POPULASI INDONESIA

Lovina¹, Nur Isnaeni^{2*}, Nurul Wafda Marpunir Rahmah³

^{1,2*,3}Program Studi Ilmu Forensik, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

Email: ¹lovina-2024@pasca.unair.ac.id, ²nur.isnaeni-2024@pasca.unair.ac.id,

³nurul.wafda.marpunir-2024@pasca.unair.ac.id

ABSTRAK

Indonesia memiliki keragaman etnis dan biologis yang sangat luas, yang menjadi tantangan tersendiri dalam penerapan metode estimasi umur, khususnya dalam konteks antropologi forensik. Penelitian ini bertujuan untuk mengulas berbagai metode estimasi umur yang telah digunakan di Indonesia dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, meliputi pendekatan berbasis gigi, tulang, tengkorak, dan histologi tulang. Setiap metode dianalisis berdasarkan tingkat akurasi, kelebihan, dan keterbatasannya ketika diterapkan pada populasi Indonesia. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode gigi seperti Demirjian, Willems, dan Atlas Perkembangan Gigi Indonesia cukup akurat untuk anak-anak dan remaja, namun memiliki bias etnis dan gender. Untuk populasi dewasa, pendekatan melalui analisis tulang dan tengkorak lebih efektif, sementara metode histologi tulang cocok digunakan pada sisa kerangka yang fragmentaris meskipun bersifat invasif. Selain itu, penggunaan teknologi kecerdasan buatan menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan akurasi estimasi, namun masih memerlukan data lokal yang representatif. Kajian ini menekankan pentingnya penyesuaian metode terhadap karakteristik populasi Indonesia dan perlunya pengembangan standar lokal untuk mendukung proses identifikasi forensik yang lebih akurat.

Kata Kunci: Estimasi Umur, Antropologi Forensik, Populasi Indonesia, Metode Gigi, Metode Tulang

ABSTRACT

Indonesia has extensive ethnic and biological diversity, which presents unique challenges in the application of age estimation methods, particularly within the context of forensic anthropology. This study aims to review various age estimation methods that have been used in Indonesia over the past ten years, including approaches based on teeth, bones, skulls, and bone histology. Each method is analyzed for the Indonesian population. The findings show that dental methods such as Demirjian, Willems, and the Indonesian Dental Development Atlas are fairly accurate for children and adolescents, although they exhibit ethnic and gender biases. For adult populations, approaches involving bone and skull analysis are more effective, while bone histology methods are suitable for fragmented remains, despite being invasive. Furthermore, the use of artificial intelligence technologies shows significant potential in improving estimation accuracy, although it still requires representative local datasets. This review highlights the importance of adapting methods to the characteristics of the Indonesian population and the need to develop local standards to support a more accurate and equitable forensic identification process.

Keywords: *Age Estimation, Forensic Anthropology, Indonesian Population, Dental Methods, Skeletal Methods*

A. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang luas dan dihuni oleh kelompok etnis dengan karakteristik berbeda-beda [1]. Setiap wilayah memiliki karakteristik genetik, lingkungan dan budaya yang khas sehingga menjadikan identifikasi forensik khususnya estimasi umur memerlukan pendekatan yang disesuaikan dengan populasi lokal [2]. Dalam konteks antropologi forensik, menentukan umur seseorang, khususnya dari sisa-sisa kerangka manusia, menjadi langkah krusial dalam membangun profil biologis individu, yang dapat membantu identifikasi korban. Akan tetapi, perbedaan genetik, pola pertumbuhan, dan kondisi lingkungan membuat metode estimasi usia yang dikembangkan di luar negeri belum tentu akurat bila diterapkan secara langsung pada populasi Indonesia ([3]; [4]).

Berbagai metode telah digunakan untuk memperkirakan usia seseorang, mulai dari analisis pertumbuhan dan perkembangan gigi, pengamatan struktur tulang dan tengkorak, hingga pendekatan mikroskopis melalui analisis histologi tulang. Beberapa metode bahkan telah dimodifikasi menggunakan teknologi kecerdasan buatan untuk meningkatkan akurasi [5]. Meskipun begitu, hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas metode tersebut sangat bergantung pada populasi yang menjadi dasar pertimbangannya. Standar usia yang dikembangkan di luar negeri tidak selalu memberikan hasil akurat ketika diterapkan pada populasi yang berbeda, termasuk Indonesia [2]. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi sejauh mana metode-metode ini dapat diandalkan dalam konteks populasi Indonesia.

Artikel ini berupaya mengulas berbagai metode estimasi usia yang telah digunakan dalam penelitian di Indonesia selama dekade terakhir. Selain mengkaji akurasi dan keterbatasan masing-masing pendekatan, artikel ini juga menyoroti perlunya standar lokal atau metode spesifik yang mampu merepresentasikan karakteristik biologis masyarakat Indonesia secara lebih akurat dan aplikatif, khususnya dalam ranah antropologi forensik [1].

Rumusan Masalah

Sebagai negara yang kaya akan keberagaman etnis dan biologis, menjadi tantangan tersendiri bagi Indonesia dalam menentukan estimasi umur individu, khususnya dalam konteks antropologi forensik. Berbagai metode estimasi usia seperti analisis gigi, tulang, tengkorak, hingga struktur histologi tulang telah digunakan, namun sebagian besarnya berasal dari populasi luar negeri. Hal ini menimbulkan pertanyaan apa saja metode yang tersedia untuk memperkirakan usia seseorang dan metode mana yang paling efektif dalam konteks populasi Indonesia?

Tujuan Penelitian

Penulisan ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendeskripsikan berbagai metode estimasi umur yang telah digunakan dalam konteks populasi Indonesia dan mengevaluasi efektivitas masing-masing metode, khususnya terkait keakuratan, keterwakilan populasi, dan faktor biologis yang beragam di Indonesia.

Manfaat Penelitian

Artikel ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam dua aspek. Secara teoritis, artikel ini dapat menjadi rujukan ilmiah bagi peneliti dan akademisi di bidang antropologi forensik, terutama dalam memahami relevansi dan akurasi berbagai metode estimasi umur pada populasi Indonesia. Secara praktis, artikel ini dapat menjadi pertimbangan bagi praktisi forensik dalam memilih metode yang paling sesuai dan dapat diandalkan dalam proses identifikasi individu.

B. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep umur pada manusia dibedakan menjadi umur kronologis dan umur biologis. Umur kronologis adalah usia yang dihitung dari tanggal lahir seseorang, berdasarkan perhitungan kalender, dan tidak dapat diubah atau dipengaruhi oleh faktor lain, seperti gaya hidup atau kesehatan. Sementara itu, usia biologis adalah usia tubuh yang sebenarnya, yang mengukur kesehatan dan fungsi organ tubuh. Usia biologis dapat lebih muda atau lebih tua dari usia kronologis, tergantung pada berbagai faktor seperti genetik, gaya hidup, dan lingkungan.

Artikel ini khusus membahas mengenai umur biologis. Ada beberapa metode yang digunakan untuk estimasi umur biologis, yaitu metode gigi, tulang, tengkorak, dan histologi tulang.

Metode Gigi

Berbagai penelitian di Indonesia telah dilakukan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir untuk mengetahui estimasi umur manusia menggunakan gigi. Dalam mengestimasi umur gigi tersebut, terdapat beberapa metode yang digunakan, antara lain:

a. Metode Demirjian

Metode ini dikembangkan pada 1973, menggunakan tujuh gigi mandibular permanen dalam delapan tahap (A-H), digunakan untuk anak dan remaja berusia 3-17 tahun [6]. Penelitian Firdaus *et al.* pada tahun 2018 [7] menyimpulkan bahwa analisis perkembangan molar ketiga menggunakan metode Demirjian pada populasi Indonesia dapat digunakan untuk estimasi usia antara 9 hingga 25 tahun. Hal itu senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Prakoeswa *et al.* pada tahun 2023 [8] di Surabaya, namun penelitian ini menemukan bahwa metode Demirjian kurang akurat untuk perempuan yang mungkin disebabkan oleh faktor gender-spesifik, seperti percepatan pertumbuhan gigi selama lonjakan pertumbuhan pada perempuan. Sementara itu, Margaretha *et al.* pada tahun 2023 [9] yang meneliti estimasi umur khusus populasi Chinese di Surabaya menggunakan metode Demirjian, menemukan bahwa laki-laki memiliki usia gigi melebihi usia kronologis sebesar 0,34 tahun (overestimasi), sedangkan pada perempuan, usia gigi lebih rendah 0,51 tahun (underestimasi). Secara umum, metode ini cukup akurat tetapi dapat melebihkan usia pada laki-laki dan merendahkan pada perempuan di Indonesia, dengan variasi berdasarkan etnis ([10]; [11]; [7]; [8]; [9]).

b. Metode Willems

Metode Willems merupakan modifikasi dari metode Demirjian untuk populasi Kaukasia Belgia yang mengatasi overestimasi. Metode ini menilai tahap perkembangan tujuh gigi mandibula kiri, memberikan skor berdasarkan tahap

klasifikasi Demirjian, lalu mengkonversinya ke usia kronologis berdasarkan jenis kelamin. Metode ini lebih akurat untuk anak-anak dibandingkan Demirjian. Penelitian oleh Prakoeswa *et al.* pada tahun 2022 [12] menemukan underestimasi signifikan pada anak dan remaja laki-laki dan perempuan di Surabaya, sedangkan penelitian oleh Kurniawan *et al.* pada tahun 2022 [6] menyimpulkan bahwa metode estimasi usia gigi Willems dapat diterapkan pada anak laki-laki karena tidak ada perbedaan statistik yang signifikan antara chronological age (CA) dan estimated dental age (EDA). Akan tetapi, pada anak perempuan, analisis lebih mendalam diperlukan karena terdapat perbedaan signifikan, terutama pada kelompok usia 11-14 tahun. Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang mereka lakukan pada tahun 2020 khusus untuk populasi di Surabaya [6].

c. Metode Al Qahtani

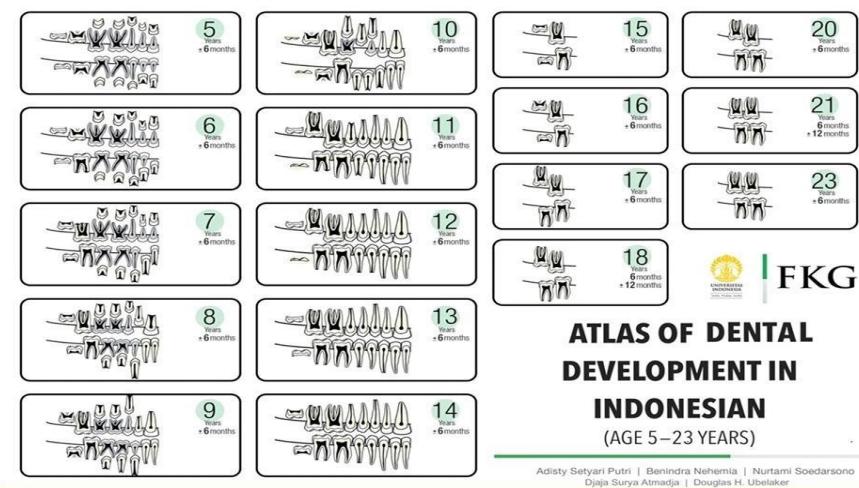
Metode ini menggunakan The London Atlas untuk estimasi usia berbasis radiografi panoramik, mencakup semua maksila dan mandibula. Penelitian oleh Prakoeswa *et al.* pada tahun 2022 [12] untuk estimasi umur gigi anak dan remaja menunjukkan bahwa metode Al Qahtani overestimasi signifikan khusus untuk populasi Surabaya. Penelitian lain di daerah yang sama pada umur dewasa oleh Swastirani *et al.* pada tahun 2018 [13] menyimpulkan metode ini dapat digunakan untuk estimasi pada perempuan, tetapi tidak pada laki-laki. Sementara itu, penelitian terbaru oleh Kurniawan *et al.* pada tahun 2024 [14] menggunakan metode Al Qahtani atau London Atas untuk anak dan remaja di Indonesia memberikan gambaran bahwa metode ini overestimasi untuk kedua jenis kelamin, senada dengan penelitian Prakoeswa *et al.* pada tahun 2022 [12].

d. CNN dan DCNN

Convolutional Neural Network (CNN) dan Deep Convolutional Neural Network (DCNN) digunakan untuk estimasi umur gigi berbasis radiografi. CNN adalah alat AI yang menganalisis gambar radiografi gigi untuk memperkirakan usia secara otomatis. CNN digunakan untuk meningkatkan metode Al Qahtani dan mencapai akurasi 74%, lebih tinggi dari 53% metode aslinya [15]. Sementara itu, DCNN adalah versi lebih dalam dari CNN. Penelitian oleh Mohammad *et al.* tahun 2024 [16] menggunakan DCNN berbasis sistem Demirjian untuk anak di Malaysia, terbukti lebih efektif dengan akurasi lebih tinggi dibandingkan metode manual seperti Willems.

e. Atlas Perkembangan Gigi Populasi Indonesia

Pada tahun 2021 Putri *et al.* [17] melakukan penelitian untuk mengembangkan Atlas Perkembangan Gigi Populasi Indonesia berusia 5-23 tahun dan membandingkannya dengan metode estimasi umur gigi lainnya antara lain Al Qahtani. Penelitian menggunakan 304 radiografi panoramik dari pasien Rumah Sakit Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia dengan parameter yang dianalisis adalah resorpsi akar gigi sulung, klasifikasi gigi permanen, dan erupsi gigi permanen. Hasil penelitian menunjukkan Atlas Indonesia terbukti lebih akurat dibandingkan dengan metode lain untuk populasi Indonesia dengan keterbatasan penelitian adalah sampel didominasi oleh ras Mongoloid dan tidak mencakup usia di bawah 5 tahun, sehingga diperlukan penelitian prospektif dengan sampel etnis yang lebih beragam.



Gambar 1. Hasil Penelitian Atlas Perkembangan Gigi Populasi Indonesia Berusia 5-23 Tahun [17]

Metode Tulang

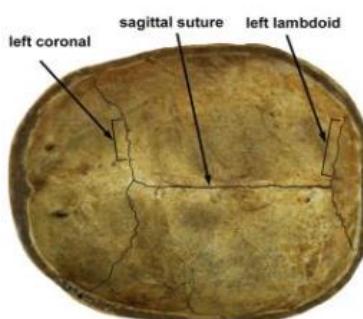
Berdasarkan penelitian Anjani *et al.* tahun 2024 [18] yang dilakukan pada populasi Thailand dan Indonesia, metode tulang menggunakan pengamatan langsung (visual observation), metode Acsadi dan Nemeskeri, metode Meindl dan Lovejoy, metode Mann, dan metode radiografi (panoramik dan cephalometri).

a. Pengamatan Langsung (Visual Observation)

Pengamatan langsung menekankan pada dua struktur utama: sutura spheno-occipital dan sutura palatina. Sutura spheno-occipital, yang berada di dasar kranium, diamati status penutupannya, apakah masih terbuka, setengah tertutup, atau sudah tertutup sepenuhnya. Penutupan sutura ini berkaitan erat dengan usia pubertas; pada laki-laki, penutupan umumnya mulai terjadi setelah usia 15 tahun, sementara pada perempuan dimulai lebih awal, sekitar usia 13 tahun.

Selain itu, metode pengamatan visual juga digunakan untuk menilai tingkat obliterasi pada empat sutura palatina: incisive, anterior median palatine, posterior median palatine, dan transverse palatine. Pola penutupan dari keempat sutura ini dijadikan dasar untuk memperkirakan rentang usia individu, dengan acuan bahwa semakin banyak sutura yang tertutup, semakin tua usia individu tersebut dan bila semua sutura tertutup, maka individu tersebut diperkirakan berusia di atas 50 tahun [19].

b. Metode Acsadi dan Nemeskeri (1970)



Gambar 2. Endocranial Sutura [19]

Metode ini fokus pada sutura bagian dalam (endocranial). Masing-masing bagian sutura seperti sagital, koronal, dan lambdoidal dibagi ke dalam segmen tertentu. Skor penutupan dihitung berdasarkan skala numerik (0–4 atau 0–3), kemudian dikaitkan dengan rentang usia tertentu. Penelitian oleh Ruengdit *et al.* tahun 2018 [20] mengestimasi umur menggunakan sutura ectocranial, endocranial, dan maksila, pada sampel 175 tengkorak kering (94 pria dan 81 wanita) dengan rentang usia antara 22 hingga 90 tahun (rata-rata 61,95 tahun, SD = 17,03). Dengan menggunakan metode Acsadi dan Nemeskeri yang dikembangkan dari sampel Hungaria dengan memeriksa endokranial, penelitian menghasilkan estimasi yang baik. Salah satu kelemahannya yaitu ketergantungan pada jahitan endokranial karena mereka tidak selalu tersedia untuk pemeriksaan, misalnya ketika tengkorak rusak parah, terkikis atau hilang, atau ketika ilmuwan ragu untuk memotong tengkorak terbuka untuk melihat jahitan internal.

c. Metode Meindl dan Lovejoy (1985)

Pemeriksaan dilakukan pada sutura luar (ectocranial). Masing-masing bagian sutura seperti sagital, koronal, dan lambdoidal dibagi ke dalam segmen tertentu. Skor penutupan dihitung berdasarkan skala numerik (0–4 atau 0–3), kemudian dikaitkan dengan rentang usia tertentu. Penelitian oleh Ruengdit *et al.* tahun 2018 [20] juga menggunakan metode estimasi usia dengan menggunakan menggunakan sutura bagian luar (ectocranial), dengan sistem vault (puncak tengkorak) dan lateral-anterior, dan menyarankan bahwa sistem lateral-anterior memberikan hasil yang lebih baik.

d. Metode Mann (1991)

Mann dan rekan mengembangkan metode alternatif menggunakan sutura maksila karena sisa kerangka seringkali tidak lengkap. Mann menyediakan rentang usia prediktif hanya dengan mengamati tingkat obliterasi sutura maksila. Metode ini mengamati obliterasi 4 sutura maksila: incisive, posterior median palatine, transverse palatine, dan anterior median palatine. Estimasi usia ditentukan berdasarkan kombinasi pola obliterasi:

- 1) Jika Incisive Suture (IN) tertutup → usia minimal 20 tahun
- 2) Jika Posterior Median Palatine (PMP) tertutup → minimal 29 tahun
- 3) Jika Transverse Palatine (TP) tertutup sebagian → 30–40 tahun
- 4) Jika Transverse Palatine (TP) tertutup >50% → minimal 41 tahun
- 5) Jika Anterior Median Palatine Suture (AMP) tertutup sebagian atau penuh → minimal 50 tahun.

Penelitian oleh Anjani *et al.* tahun 2024 [21] menggunakan metode Mann pada pengamatan penutupan sutura palatina (langit-langit mulut).. Rentang usia ditentukan berdasarkan derajat obliterasi masing-masing sutura: (<20 tahun jika belum ada obliterasi dan ≥50 tahun jika semua sutura termasuk AMP telah mengalami obliterasi).

e. Metode Radiografi (panoramik dan cephalometri)

Pada pendekatan radiografi, digunakan teknik panoramik dan cephalometri untuk mengukur parameter morfometrik pada mandibula. Dua parameter utama yang diamati adalah [19];

- 1) Sudut gonial, yaitu sudut yang terbentuk antara dasar mandibula dengan ramus posterior, dan nilai sudut ini diketahui akan menurun seiring bertambahnya usia akibat perubahan fungsi otot pengunyah dan proses remodelisasi tulang.

2) Ukuran dimensi mandibula seperti tinggi ramus serta lebar bigonial yang mencerminkan perubahan morfologis yang dapat dikaitkan dengan usia. Meskipun metode radiografi menawarkan kemudahan akses dan tidak invasif, penelitian ini mencatat bahwa gambar radiografi rentan terhadap distorsi geometris, yang dapat mempengaruhi keakuratan pengukuran, sehingga hasil estimasi usia bisa bervariasi.

Anjani *et al.* tahun 2024 [21] juga melakukan pengukuran sudut gonial sebagai sudut antara basis mandibula dan tepi posterior ramus mandibula. Pengukuran dilakukan secara langsung maupun melalui radiografi (panoramik dan cephalometri). Sudut ini menurun seiring bertambahnya usia karena proses remodeling tulang dan perubahan aktivitas otot kyunah.

- f. Metode Estimasi Usia dari Penutupan Epifisis Radius dan Ulna
- Penelitian oleh Lio *et al.* tahun 2017 [22] di RSUD Dr. Soetomo, Surabaya, bertujuan memperkirakan usia kronologis melalui pemeriksaan radiologi penutupan epifisis tulang radius dan ulna distal. Studi dilakukan pada 68 pasien laki-laki usia 11–30 tahun dan 22 pasien perempuan usia 13–28 tahun. Penelitian ini menggunakan desain deskriptif cross-sectional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa:
- 1) Pada laki-laki, sebagian besar tulang radius dan ulna distal telah menutup sempurna pada usia ≥ 17 tahun.
 - 2) Pada perempuan, penutupan sempurna terjadi lebih awal, yaitu pada usia ≥ 16 tahun.
 - 3) Sebelum usia tersebut, sebagian besar kasus menunjukkan penutupan sebagian (lebih dari setengah area epifisis).

Penutupan epifisis menjadi salah satu indikator penting dalam estimasi usia forensik karena mencerminkan kematangan tulang biologis. Namun, faktor genetik, nutrisi, dan karakteristik populasi lokal sangat mempengaruhi waktu penutupan, sehingga diperlukan data referensi yang spesifik untuk tiap populasi. Metode ini, menggunakan pemeriksaan radiologi sederhana seperti X-ray, dianggap praktis dan efisien untuk aplikasi di berbagai situasi forensik, baik pada individu hidup maupun korban yang masih memiliki jaringan lunak [22].

Metode Tengkorak

Metode penentuan umur dengan skeletal menggunakan kolumna vertebral, vertebra servikal, bagian kerangka lain, dan metode Random Forest (RF).

a. Kolumna vertebral (tulang belakang)

Tulang vertebra servikal terdiri dari tujuh tulang yaitu servikal 1-7 (C1-C7) yang menopang leher manusia. Namking *et al* melakukan penelitian pada populasi Thailand dan melaporkan adanya peningkatan pembentukan osteofit pada kolumna vertebral seiring bertambahnya usia. Prevalensi subjek penelitian yang mengalami pembentukan proses osteofit pada populasi ini sebesar 85%. Chanapa dan Mahakkanukrauh melakukan penelitian pada 200 orang sampel populasi Chiang Mai, Thailand, yang terdiri dari 139 orang laki-laki dan 61 orang perempuan. Observasi dilakukan terhadap kelompok tulang servikal dari C3-C7. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada C5 dan C6 terdapat pembentukan osteofit yang lebih banyak dibandingkan pada C3, C4, dan C7. Secara keseluruhan, penelitian tersebut menyimpulkan bahwa perubahan osteofit memiliki korelasi dengan usia ($r=0,377$) dengan signifikansi $p<0,01$ [23].

Penelitian pada populasi Korea oleh Kim et al yang mengamati adanya perubahan osteofit pada bagian servikal, torakal, dan lumbal menggunakan metode skoring pada 87 kerangka jenazah Dinasti Joseon. Skoring yang dilakukan menggunakan kriteria Snodgrass, yaitu:0, tidak terjadi degenerasi; 1, lipping dalam skala ringan; 2, lipping dalam skala sedang; 3, lipping dalam skala berat; dan 4, terjadi ankirosis pada tulang. Perubahan yang terjadi pada bagian korpus vertebra yaitu pembentukan osteofit pada cervical mencapai 82,1%, torakal 97,7%, dan lumbal 90,7%. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa perubahan osteofit memiliki hubungan bermakna dengan penuaan [23].

b. Vertebra Servikal (C3 dan C4)

Penelitian oleh Utama et al. (2020) terhadap 100 subjek berusia 9–18 tahun dan masing-masing kelompok usia diisi 10 orang (5 laki-laki dan 5 perempuan). Penelitian ini mengembangkan rumus estimasi usia skeletal berdasarkan pengukuran tulang servikal (vertebra C3 dan C4) pada radiograf cephalometrik lateral.

Parameter yang diukur:

- 1) AH (Anterior Height)
- 2) PH (Posterior Height)
- 3) AP (Anteroposterior length)
- 4) H (Tinggi badan vertebra)

Rasio yang dihitung: AH/AP; H/AP; PH/AP; AH/H; H/PH; AH/PH.

Data diukur dua kali (hari ke-1 dan ke-15) untuk menguji intra-rater reliability menggunakan Intraclass Correlation Coefficient (ICC), dan hasil menunjukkan $ICC > 0.9$, yang berarti konsistensi pengukuran sangat baik. Data kemudian dianalisis menggunakan regresi linear berganda untuk membentuk rumus estimasi usia skeletal vertebra berdasarkan parameter-parameter tersebut [24].

c. Kerangka Manusia

Studi literatur oleh Arief et al. tahun 2024 [25] mereview berbagai teknik estimasi umur berbasis kerangka manusia, baik makroskopik maupun mikroskopik. Metode estimasi usia osteologis memerlukan penyesuaian dan evaluasi terus-menerus berdasarkan populasi dan faktor-faktor spesifik terkait usia. Kombinasi beberapa metode dan analisis mendalam terhadap variabel morfologis dapat meningkatkan akurasi estimasi usia, meskipun bias tetap ada terutama pada kelompok usia tua dan muda. Simfisis pubis lebih akurat untuk usia muda, aurikular untuk usia menengah, dan gigi monoartikular serta ujung sternum iga ke-4 untuk usia lanjut. Pendekatan multi metode meningkatkan akurasi. Dalam estimasi umur dilakukan pada erupsi gigi, epifisis tulang panjang, simfisis pubis, ujung tulang iga keempat, permukaan aurikular serta struktur mikroskopis tulang dan gigi.

Pada tahun 2006 Rissech et al. [26] mengidentifikasi tiga variabel yang signifikan: kelengkungan acetabulum, porositas tepi acetabulum, dan aktivitas apex. Korelasi tinggi ditemukan antara variabel ini dengan usia kronologis, dengan tingkat akurasi mencapai 81% dalam prediksi usia saat kematian. Metode ini sangat berguna dalam kondisi kerangka rusak atau fragmentaris.

d. Metode Random Forest

Penelitian oleh Darmawan *et al.* tahun 2020 [27] mengembangkan metode estimasi umur menggunakan panjang tulang tangan kiri individu Asia dengan pendekatan kecerdasan buatan (khususnya Random Forest). Sampel berupa 333 citra rontgen tangan kiri anak-anak Asia (166 laki-laki, 167 perempuan) usia 0–18 tahun dari dataset online Children's Hospital Los Angeles. Panjang 19 tulang tangan diukur pada citra radiografi, lalu dianalisis menggunakan model Random Forest (RF). Skema metode model FR adalah experiment data dianalisis dengan *soft computing model* kemudian dilakukan analisis statistik.

Metode Histologi Tulang

Histomorfometri adalah salah satu metode alternatif yang mengandalkan evaluasi mikrostruktur tulang kortikal selama rentang hidup untuk proses remodeling. Pendekatan histomorfometri dapat dilakukan pada sisa tulang yang terfragmentasi atau tidak lengkap. Sebagian besar metode histomorfometri menggunakan penampang melintang dari bagian tengah tulang panjang, termasuk mandibula, tulang rusuk, dan klavikula [18].

Metode histologi sebagian besar menggunakan bagian tengah diafisis tulang panjang terutama pada tulang paha. Meskipun tulang-tulang panjang seperti fibula, tibia, dan femur menyediakan fitur tulang kortikal yang jelas dan sesuai, mereka pada dasarnya adalah tulang yang menahan beban dan aktivitas fisik. Sementara itu tulang rusuk dan klavikula mengurangi efek pada proses remodeling. Mereka adalah alternatif yang baik untuk histomorfometri bahkan jika mereka tidak memberikan akurasi terbaik.

a. Tulang panjang pada tungkai atas dan tungkai bawah

Kerley *et al.* (1965) menggunakan potongan melintang dasar dari bagian tengah tulang paha, tibia, dan fibula, dan menemukan sepertiga bagian luar korteks memiliki hubungan yang lebih baik dengan penuaan. Mereka menyelidiki empat parameter dan menemukan bahwa semua parameter di semua tulang berkorelasi secara signifikan dengan usia ($r = 0,79–0,97$). Dengan bertambahnya usia, jumlah osteon dan fragmen meningkat sementara persentase tulang lamelar melingkar menurun. Jumlah kanal non-haversian ditemukan tinggi pada masa bayi dan anak-anak dan cenderung menurun seiring bertambahnya usia. Jumlah osteon terfragmentasi di fibula merupakan korelasi terbaik dengan usia. Parameter osteon memberikan nilai yang lebih baik daripada yang lainnya. Mereka juga tidak menemukan perbedaan jenis kelamin dan ras dalam metode ini. Lebih jauh, ketika menerapkan persamaan usia menggunakan osteon terfragmentasi, usia yang diperkirakan berada dalam kisaran ± 10 tahun.

Ahlqvist dan Damsten (1969) memodifikasi metode tersebut pada tulang paha, bidang lokasi dipindahkan dari bidang asli metode Kerley. Hasil penelitian menemukan bahwa definisi parameter pada penelitian Kerley sebelumnya tidak pasti dan membingungkan untuk diperiksa sehingga mengakibatkan peningkatan kesalahan pengamatan. Beberapa definisi terlalu sulit untuk dibedakan seperti osteon yang lengkap dan terfragmentasi.

Singh dan Gunberg (1970) mempelajari mandibula, tulang paha, dan tibia untuk mengetahui indikator usia yang praktis dan bermanfaat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah total osteon ($r= 0,92–0,97$) dan jumlah lamela per osteon meningkat ($r=0,89–0,95$), sedangkan diameter kanal haversian menurun seiring bertambahnya usia pada semua jenis tulang ($r= -0,94$ hingga $-0,97$) [18].

Stout dan Gehlert (1980) membandingkan keandalan antara metode Kerley dengan Ahlqvist dan Damsten yang memeriksa tulang paha, tibia, dan fibula. Keakuratan terbesar dalam penentuan usia ditemukan dengan menggunakan persamaan Kerley untuk tulang paha. Pada individu muda, variabel osteon utuh femur memberikan keakuratan paling tinggi untuk persamaan usia, sedangkan fragmen osteon fibula ditemukan paling tinggi pada usia yang lebih tua.

b. Tulang rusuk dan tulang selangka

Stout dan Paine (1992) mengusulkan estimasi usia menggunakan sepertiga tengah tulang rusuk ke-6 dan bagian tengah tulang selangka. Osteon yang utuh dan terfragmentasi dijumlahkan bersama-sama dalam penghitungan sebagai kepadatan osteon total atau OPD untuk menghilangkan masalah interpretasi yang salah. Osteon yang utuh dan fragmented dijumlahkan bersama dalam penghitungan sebagai total kepadatan osteon atau OPD untuk menghilangkan masalah interpretasi yang salah. Untuk menguji keakuratan metode ini, perbedaan antara estimasi usia dan usia aktual adalah -2,7 sampai 9 tahun (rata-rata=2,6) pada tulang rusuk, -8,1 sampai 20,6 tahun (rata-rata=1,1) pada tulang selangka, dan -2,5 sampai 14,5 tahun (rata-rata=3,4) pada persamaan gabungan tulang rusuk dan tulang selangka. Mereka menyarankan untuk menggunakan rumus gabungan untuk tulang rusuk dan tulang selangka dalam estimasi usia karena memberikan akurasi yang lebih baik secara keseluruhan dan keandalan yang lebih baik.

c. Menggabungkan tulang panjang dan tulang rusuk

Goliath et al. (2016) menentukan dampak potensial bentuk osteon (sirkularitas) dan ukuran pada metode usia histologis. Sampel Eropa dikumpulkan untuk mendapatkan irisan tipis femur dan tulang rusuk yang tidak mengalami kalsifikasi. Korelasi yang signifikan secara statistik dengan usia ditemukan pada OPD, area osteon, dan sirkularitas osteon pada femur dan tulang rusuk. Sirkularitas osteon memberikan korelasi paling besar ($r=0,81$) pada kedua tulang. Area osteon ditemukan menurun seiring bertambahnya usia yang kontras dengan OPD dan sirkularitas osteon. Ketika membandingkan variabel yang sama pada femur dan tulang rusuk, sirkularitas osteon dan OPD tidak berbeda tetapi area osteon berbeda secara signifikan. Ukuran osteon pada tulang rusuk lebih kecil daripada osteon pada femur. Menariknya, terdapat korelasi rendah antara jenis kelamin dan area osteon di tulang rusuk.

Lagace et al. (2019) mengevaluasi metode penelitian Goliath di Prancis Selatan. Potongan yang mengalami deklasifikasi dengan pewarnaan merah Sirius pada 29 midshaft femoralis digunakan untuk penelitian. Dua bidang di area subperiosteal dari setiap kuadran femoralis diamati variabel osteon menggunakan alat gambar. Dengan bertambahnya usia, ditemukan peningkatan OPD dan bentuk melingkar osteon serta penurunan ukuran osteon. OPD memiliki hubungan tertinggi dengan usia ($r = 0,68$) yang sangat bertentangan dengan penelitian asli Goliath. Mereka merekomendasikan bahwa sirkularitas osteon mungkin bukan parameter yang baik untuk penentuan usia yang disebabkan oleh pengulangan yang rendah. Ketika menerapkan rumus Goliath, hanya 13% dari semua sampel dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang akurat, yang menunjukkan kemungkinan pengaruh

populasi tertentu. Selain itu, metode persiapan yang berbeda dan usia sampel berkontribusi untuk memperoleh hasil akurat yang berbeda [18].

Evaluasi Metode Estimasi Umur berdasarkan Gigi, Tulang, Tengkorak, dan Histologi Tulang

Berbagai penelitian yang sudah dilakukan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir untuk estimasi umur populasi Indonesia menunjukkan bahwa metode gigi, tulang, tengkorak, dan histologi tulang memiliki tingkat akurasi yang bervariasi. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan pentingnya penyesuaian metode dengan karakteristik populasi, seperti variasi etnis dan kondisi lingkungan.

Metode gigi fokus pada perkembangan dan struktur gigi, terutama untuk anak dan remaja. Beberapa metode utama untuk estimasi usia berdasarkan gigi seperti yang sudah dipaparkan di atas memiliki sejumlah tantangan, antara lain bias gender dan etnis yang memerlukan standar spesifik populasi seperti pada metode Atlas Perkembangan Gigi Indonesia.

Metode tulang berfokus pada perubahan tulang, terutama untuk dewasa. Metode tulang efektif untuk dewasa dengan fusi epifisis dan analisis mikrostruktur yang memberikan hasil andal, namun kondisi tulang yang rusak sering menjadi hambatan. AI seperti Random Forest menjanjikan untuk analisis panjang tulang tangan pada anak Asia, tetapi memerlukan validasi lebih lanjut.

Metode tengkorak yang melibatkan analisis perubahan tengkorak dan vertebra sangat berguna untuk dewasa, terutama analisis vertebra yang tahan terhadap kerusakan taphonomi, namun kebutuhan akan tengkorak utuh sering menjadi kendala. Terakhir, metode histologi tulang yang menganalisis mikrostruktur tulang yang sangat akurat untuk sisa-sisa hancur, tetapi invasif dan memerlukan peralatan khusus. Variasi antar populasi mempengaruhi hasil sehingga memerlukan kalibrasi untuk Indonesia.

Hampir sebagian besar hasil riset estimasi umur untuk populasi Indonesia menekankan pentingnya pendekatan dari berbagai bagian dengan kombinasi metode untuk meningkatkan akurasi. Variasi etnis di Indonesia mengharuskan pengembangan standar spesifik, seperti Atlas Perkembangan Gigi, yang saat ini terbatas pada usia dan etnis tertentu. Teknologi AI menjanjikan peningkatan akurasi, terutama dalam estimasi gigi dan tulang, tetapi memerlukan data besar yang representatif.

Tabel 1 berikut merangkum evaluasi komperatif terhadap metode estimasi umur berdasarkan gigi, tulang, tengkorak dan histologi tulang.

Tabel 1. Rangkuman Evaluasi Metode Estimasi Umur

Kategori	Usia Sasaran	Akurasi	Kelebihan	Kekurangan	Rekomendasi
Gigi	Anak - Remaja	Tinggi (70–90%), tergantung metode (Demirjian, Willems, AI Qahtani)	Akurat untuk anak, standar lokal tersedia	Bias gender, terbatas pada usia dewasa	Kembangkan atlas untuk etnis beragam

Tulang	Dewasa - Lanjut Usia	Sedang bergantung jenis tulang dan pengalaman pemeriksa	Efektif untuk dewasa, tahan kerusakan	Bergantung pada kondisi tulang, kompleks	Kombinasikan dengan AI untuk akurasi
Tengkorak	Dewasa	Rendah (50–70%), akurasi rendah jika tanpa radiografi	Analisis vertebra akurat, tahan taphonomi	Membutuhkan tengkorak utuh, subjektif	Tingkatkan validasi metode radiografi
Histologi Tulang	Semua Rentang Usia	Sedang terutama jika preparasi optimal	Akurat untuk sisa hancur, korelasi tinggi	Invasif, memerlukan keahlian khusus	Sederhanakan proses untuk penggunaan luas

Berdasarkan tabel di atas, secara garis besar penelitian estimasi umur di Indonesia masih menghadapi beberapa kendala. Metode gigi belum banyak diterapkan pada usia dewasa dan atlas yang ada masih terbatas pada data dari Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia. Sementara itu, metode tulang umumnya berasal dari populasi Barat, sehingga perlu disesuaikan dengan karakteristik tubuh orang Indonesia. Estimasi melalui sutura kranial kurang akurat karena fusi bervariasi antar individu dan lokasi, sedangkan metode histologi terkendala minimnya fasilitas laboratorium dan tenaga ahli. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi keterbatasan, seperti subjektivitas dalam analisis tengkorak dan kompleksitas metode histologi tulang.

D. KESIMPULAN

Estimasi umur dalam konteks antropologi forensik memiliki peranan penting dalam upaya identifikasi individu, terutama di Indonesia yang memiliki keberagaman etnis dan karakteristik biologis. Metode estimasi umur meliputi pendekatan melalui gigi, tulang, tengkorak, dan histologi tulang.

Metode berbasis gigi, seperti Demirjian, Willems, Al Qahtani, dan Atlas Perkembangan Gigi Indonesia, menunjukkan akurasi yang baik pada anak-anak dan remaja, namun memerlukan kalibrasi ulang terhadap variasi etnis dan gender. Metode berbasis tulang dan tengkorak efektif untuk estimasi usia dewasa, namun keterbatasan akibat kerusakan tulang serta kebutuhan spesimen utuh menjadi kendala. Metode histologi tulang memberikan akurasi tinggi pada kondisi tulang fragmentaris, meski bersifat invasif dan memerlukan keahlian khusus.

Penggunaan teknologi kecerdasan buatan seperti CNN, DCNN, dan Random Forest mulai menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan akurasi estimasi umur. Namun, masih dibutuhkan basis data lokal yang luas untuk memastikan keberhasilan aplikasinya pada populasi Indonesia. Secara

keseluruhan, kombinasi berbagai metode serta penyesuaian terhadap karakteristik populasi lokal menjadi kunci utama dalam meningkatkan akurasi dan keandalan estimasi umur pada konteks forensik di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Fatmawati, "Strategies to grow a proud attitude towards Indonesian cultural diversity," *Linguist. Cult. Rev.*, vol. 5, no. S1, pp. 810–820, 2021, doi: 10.21744/lingcure.v5ns1.1465.
- [2] D. H. Ubelaker and H. Khosrowshahi, "Estimation of age in forensic anthropology: historical perspective and recent methodological advances," *Forensic Sci. Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1080/20961790.2018.1549711.
- [3] A. H. Larasati, T. Koesbardiati, and A. Yudianto, "Estimasi Tinggi Badan Berdasarkan Ukuran Kepala pada Ras Mongoloid di Pandean, Surabaya," *J. Biosains Pascasarj.*, vol. 20, no. 2, p. 107, 2018, doi: 10.20473/jbp.v20i2.2018.107-119.
- [4] N. A. Amir, M. Rahmat, F. R. R, D. Mathius, A. Millaty, and H. Dirgahayu, "Identifikasi Perkiraan Jenis Kelamin dan Usia pada Temuan Tulang Tengkorak di Daerah Wajo yang di Otopsi di Rumah Sakit Bhayangkara Makassar," *Prepotif J. Kesehat. Masy.*, vol. 9, no. Nomor 2, pp. 2956–2963, 2025.
- [5] B. Marcante, L. Marino, N. E. Cattaneo, A. Delicati, P. Tozzo, and L. Caenazzo, "Advancing Forensic Human Chronological Age Estimation: Biochemical, Genetic, and Epigenetic Approaches from the Last 15 Years: A Systematic Review," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 26, no. 7, pp. 1–44, 2025, doi: 10.3390/ijms26073158.
- [6] A. Kurniawan *et al.*, "Accuracy of Tooth Development as an Indicator of Dental Age Estimation for Children in Indonesia," *e-GiGi*, vol. 10, no. 1, p. 144, 2022, doi: 10.35790/eg.v10i1.39553.
- [7] Firdaus, R. Puspitawati, and B. Nehemia, "Age estimation of 8- to 25-year-olds based on third molar calcification using the Demirjian method in an Indonesian population," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1073, no. 2, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1073/2/022005.
- [8] B. F. W. R. Prakoeswa *et al.*, "Using the Demirjian method for estimating the dental age of children in Surabaya, Indonesia," *Dent. J.*, vol. 56, no. 2, pp. 87–91, 2023, doi: 10.20473/J.DJMKG.V56.I2.P87-91.
- [9] Mieke Sylvia Margaretha *et al.*, "Unveiling dental age patterns in a Chinese population: A study in Surabaya using the Demirjian method," *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 19, no. 1, pp. 529–534, 2023, doi: 10.30574/wjarr.2023.19.1.1352.
- [10] A. Kurniawan *et al.*, "The Applicable Dental Age Estimation Methods for Children and Adolescents in Indonesia," *Int. J. Dent.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/6761476.
- [11] A. P. Al. Utama, Mohammad Dharma, Nurfadilla Arifin, Yusriini Selviani, Ardian Jaya Kusuma, "Perbedaan Usia Dental Antara Metode Demerjian dan Cameriere Menggunakan Radiography Panoramik," *IJOH Indones. J. Public Heal.*, vol. 2, no. 4, pp. 871–881, 2025.

- [12] A. Kurniawan, M. Wibowo, A. Chusida, B. Rizky, and B. Prakoeswa, "Adults' dental age estimation by Cameriere's method using mandibular canines' pulp/tooth ratio in Surabaya, Indonesia. *Bulletin of the International Association for Paleodontontology* 2022;16(1)8-16.," vol. 16, no. 1, pp. 8–16, 2022.
- [13] M. S. M. Swastirani, Astika, Haryono Utomo, "Estimasi Usia dengan Orthopantomogram pada Pasien Rumah Sakit Gigi dan Mulut Pendidikan Universitas Airlangga," *E-Prodenta J. Dent.*, vol. 2, no. 1, pp. 124–129, 2018.
- [14] A. Kurniawan *et al.*, "The applicability of dental age estimation based on the staging and atlas approaches in Indonesian children and adolescents," *Eur. J. Anat.*, vol. 28, no. 5, pp. 525–531, 2024, doi: 10.52083/UJVG7422.
- [15] A. Kurniawan *et al.*, "Dental age estimation using a convolutional neural network algorithm on panoramic radiographs: A pilot study in Indonesia," *Imaging Sci. Dent.*, vol. 55, no. 1, pp. 28–36, 2025, doi: 10.5624/isd.20240134.
- [16] N. Mohammad, R. Ahmad, M. H. A. Gaus, A. Kurniawan, and M. Y. P. M. Yusof, "Accuracy of automated forensic dental age estimation lab (F-DentEst Lab) on large Malaysian dataset," *Forensic Sci. Int.*, vol. 361, no. March, 2024, doi: 10.1016/j.forsciint.2024.112150.
- [17] A. S. Putri, N. Soedarsono, B. Nehemia, D. S. Atmadja, and D. H. Ubelaker, "Age estimation of individuals aged 5–23 years based on dental development of the Indonesian population," *Forensic Sci. Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 115–123, 2021, doi: 10.1080/20961790.2021.1886648.
- [18] T. Gumpangseth and P. Mahakkanukrauh, "Age estimation in the combined long bones and ribs by histomorphometry: Past, present, and future," *Med. Sci. Law*, vol. 64, no. 1, pp. 52–71, 2024, doi: 10.1177/00258024231208280.
- [19] A. E. Asdiana, R. Puspitawati, and N. Soedarsono, "Age Estimation via Orocraniofacial Based on Direct Observation and Radiography," *J. La Medihealtico*, vol. 5, no. 1, pp. 40–49, 2024, doi: 10.37899/journallamedihealtico.v5i1.1036.
- [20] S. Ruengdit, S. Prasitwattanaseree, K. Mekjaidee, A. Sinthubua, and P. Mahakkanukrauh, "Age estimation approaches using cranial suture closure: A validation study on a Thai population," *J. Forensic Leg. Med.*, vol. 53, pp. 79–86, 2018, doi: 10.1016/j.jflm.2017.11.009.
- [21] R. C. S. Anjani, M. D. Artaria, P. Singsuwan, J. Arunorat, and P. Mahakkanukrauh, "Biological Identification of Skulls in Indonesian and Thai Populations: Ancestry Estimation, Sex Determination, Stature Estimation, and Age Estimation," *Int. J. Morphol.*, vol. 42, no. 1, pp. 137–146, 2024, doi: 10.4067/S0717-95022024000100137.
- [22] T. M. P. Lio, T. Koesbardiati, A. Yudianto, and R. Setiawati, "Waktu Penutupan Epifisis Tulang Radius dan Ulna Bagian Distal," *J. Biosains Pascasarj.*, vol. 19, no. 1, p. 55, 2017, doi: 10.20473/jbp.v19i1.2017.55-67.
- [23] R. S. Pasaribu, A. Rahmadhani, and R. Puspitawati, "Kolumna Vertebral sebagai Parameter Estimasi Usia dan Determinasi Jenis Kelamin Vertebral Column as the Parameter of Age Estimation and Sex Determination," *Med. Scope J.*, vol. 5, no. 2, pp. 294–304, 2023.

- [24] V. Utama, N. Soedarsono, and M. Yuniastuti, "Assessment of agreement between cervical vertebrae skeletal and dental age estimation with chronological age in an Indonesian population," *J. Forensic Odontostomatol.*, vol. 38, no. 3, pp. 16–24, 2020.
- [25] P. Arief *et al.*, "Perkiraan Usia Berdasarkan Tulang Belulang," *J. MedScientiae*, vol. 3, no. 2, pp. 168–175, 2024.
- [26] C. Rissech, G. F. Estabrook, E. Cunha, and A. Malgosa, "Using the acetabulum to estimate age at death of adult males," *J. Forensic Sci.*, vol. 51, no. 2, pp. 213–229, 2006, doi: 10.1111/j.1556-4029.2006.00060.x.
- [27] M. F. Darmawan, A. F. Z. Abidin, S. Kasim, T. Sutikno, and R. Budiarto, "Random forest age estimation model based on length of left hand bone for asian population," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 549–558, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i1.pp549-558.