

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Antropologi forensik adalah penerapan antropologi biologis dan metodenya untuk mengidentifikasi orang yang hidup dan mati, khususnya dalam rangka penyelidikan hukum atas jenazah manusia. Salah satu tugas utama seorang antropolog forensik adalah memeriksa dan mengidentifikasi kerangka dan potongan-potongan tubuh yang tidak diketahui. Pada kasus mutilasi, tidak jarang ditemukan tubuh yang tidak utuh lagi atau hanya berupa tulang belulang sehingga menyulitkan proses identifikasi. Parameter usia, jenis kelamin, ras/suku bangsa dan tinggi badan merupakan kriteria penting dalam menetapkan profil biologis seseorang. Proses ini membantu mempersempit kemungkinan kecocokan korban selama proses investigasi. (Afandi et al., 2019; Chandrakanth et al., 2015; Novitasari et al., 2023; Zohlupuii et al., 2023)

Metode metrik untuk memperkirakan usia, jenis kelamin, ras/suku bangsa, dan tinggi badan memainkan peran penting dalam membangun profil biologis untuk sisa-sisa manusia yang tidak teridentifikasi yang merupakan langkah pertama menuju identifikasi positif. Karena metode metrik melibatkan pengukuran yang terdefinisi dengan baik, metode metrik untuk profil biologis memiliki potensi kesalahan antar dan intraobserver yang lebih kecil daripada metode nonmetrik. Estimasi usia, jenis kelamin, ras/suku bangsa, dan tinggi badan bergantung pada metode yang diperoleh dari data referensi yang paling tepat untuk digunakan dalam praktik forensik. Dalam beberapa kasus, jenis kelamin lebih mudah diidentifikasi daripada ras/suku bangsa karena hasilnya adalah salah satu dari dua kelompok (untuk jenis kelamin biologis) sedangkan hasil untuk estimasi ras/suku bangsa adalah salah satu dari beberapa kelompok. Untuk jenis kelamin dan tinggi badan, estimasi terbaik biasanya diberikan oleh rumus khusus populasi. Misalnya, rumus yang diperoleh dari satu kelompok populasi (misalnya, orang Meksiko-Amerika) mungkin tidak bekerja dengan baik untuk kelompok lain karena perbedaan dalam dimorfisme ukuran seksual. Selain itu, estimasi jenis kelamin membantu mempersempit parameter pencarian sekitar 50% saat mencari melalui laporan orang hilang untuk hipotesis identifikasi. Estimasi keturunan dan tinggi badan yang akurat dapat mempersempit parameter pencarian lebih jauh. (Spradley, 2016)

Pengukuran utama profil biologis dapat dilakukan melalui identifikasi struktur kerangka tulang. Jenis tulang yang dianggap paling akurat dalam menentukan profil biologis adalah panggul dan tengkorak. Akan tetapi kedua jenis tulang ini memiliki keterbatasan karena kerentanannya terhadap kerusakan, variabilitas anatomi, dan kesulitan dalam analisis pada beberapa individu (terutama pada usia lanjut atau tubuh yang rusak). Oleh karena itu, diperlukan elemen kerangka alternatif sebagai indikator potensial menentukan profil biologis. Salah satu elemen tersebut adalah tulang dada atau tulang sternum yang sering kali dipilih karena lebih mudah ditemukan dalam kondisi utuh, memiliki ciri khas yang dapat membantu dalam

penentuan profil biologis, dan lebih tahan terhadap kerusakan dalam banyak kasus. Sternum dapat ditemukan utuh, mengingat posisinya yang relatif terlindungi di dalam tubuh. Kerangka tulang sternum adalah struktur yang diamati tahan terhadap efek pembusukan dan penguraian dalam jangka waktu yang lama. Sternum adalah tulang dengan lempengan panjang, sempit, dan datar yang ditempatkan di tengah bagian depan dada. Tulang sternum dibagi menjadi tiga bagian - manubrium di sisi atas, corpus di tengah, yaitu mesosternum dan processus xiphoideus di sisi distal atau bawah. Saat osifikasi berlangsung, manubrium bergabung dengan mesosternum dan mesosternum berartikulasi dengan xiphoid melalui sendi tulang rawan primer atau sekunder. (Chandrakanth et al., 2015b; Darade et al., 2020a; Hanzelyová et al., 2024)

Estimasi usia biologis individu berdasarkan panjang tulang sternum merupakan pendekatan yang menarik dalam antropologi forensik. Tulang sternum, memiliki karakteristik pertumbuhan yang dapat mencerminkan usia seseorang. Penelitian menunjukkan bahwa panjang tulang sternum dapat berhubungan dengan tahap perkembangan individu, terutama pada anak-anak dan remaja. Menurut penelitian oleh Ashley et al. tahun 2014, panjang sternum meningkat secara signifikan selama masa pertumbuhan dan dapat digunakan untuk memperkirakan usia dengan margin kesalahan yang relatif kecil. Data statistik menunjukkan bahwa panjang sternum pada pria dewasa rata-rata mencapai 16,5 cm, sedangkan pada wanita dewasa sekitar 15,5 cm. Penelitian lebih lanjut oleh Manas et al. tahun 2022 menemukan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara panjang sternum pria dan wanita, yang dapat digunakan untuk membantu estimasi usia. Dengan menggunakan pengukuran ini, para peneliti dapat mengembangkan model regresi yang dapat memprediksi usia berdasarkan panjang tulang sternum dengan akurasi yang lebih tinggi. Penting untuk dicatat bahwa faktor-faktor seperti penyakit, nutrisi, dan genetika juga dapat mempengaruhi pertumbuhan tulang. Meskipun panjang sternum dapat memberikan indikasi usia, variabel-variabel ini harus diperhitungkan untuk meningkatkan akurasi estimasi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan metode yang lebih komprehensif dalam estimasi usia berdasarkan panjang tulang sternum. (Allam et al., 2021; Jaiswal, 2018; Sahu et al., 2022; Siddiqui et al., 2023; Weaver et al., 2014)

Panggul memberikan estimasi jenis kelamin terbaik berdasarkan perbedaan ukuran seksual dan dimorfisme bentuk antara pria dan wanita. Karena wanita memiliki potensi untuk melahirkan, panggul mereka berbeda tidak hanya dalam ukuran tetapi juga bentuk. Indikator lain yang dapat digunakan adalah tulang panjang, skapula, klavikula, humerus, radius, ulna, proses mastoideus dan sternum. Namun, tulang tunggal terbaik untuk estimasi jenis kelamin akan bergantung pada populasi yang ada. Penelitian menunjukkan bahwa ada perbedaan morfologis yang signifikan antara tulang sternum pria dan wanita, yang dapat digunakan untuk menentukan jenis kelamin. Menurut penelitian oleh Manoharan et al. tahun 2016, panjang sternum pada pria biasanya lebih panjang dan lebih lebar dibandingkan dengan wanita, yang mencerminkan perbedaan dalam ukuran tubuh secara keseluruhan. (Allam et al., 2021; Manoharan et al., 2016; Spradley, 2016a)

Estimasi ras/suku bangsa yang baik dapat dicapai dengan data metrik kranial atau postkranial dengan data referensi yang sesuai. Tidak seperti metode estimasi jenis kelamin yang memberikan hasil laki-laki atau perempuan, estimasi ras/suku bangsa memerlukan interpretasi pengguna terhadap keluaran statistik untuk klasifikasi individu ke dalam satu dari banyak kelompok. Oleh karena itu, perlu memiliki pengetahuan praktis tentang statistik multivariat untuk membuat estimasi yang tepat. (Spradley, 2016a)

Estimasi tinggi badan dengan metode matematika memberikan estimasi yang baik untuk sisa kerangka yang tidak lengkap, meskipun penting untuk diingat kelompok populasi dan periode waktu yang digunakan untuk mengembangkan metode tersebut. Metode anatomi memberikan estimasi tinggi badan terbaik dan tidak spesifik untuk populasi atau periode waktu tertentu dan harus digunakan ketika kerangka lengkap tersedia. Karl Pearson (1899) dan kemudian Trotter dan Gleser (1952) menurunkan persamaan regresi untuk memperkirakan tinggi badan dengan menggunakan tulang panjang yang digunakan di seluruh dunia untuk jangka waktu yang lama. Sejumlah tulang lain seperti tengkorak, metakarpal, metatarsal, skapula, sternum, vertebra lumbal, sakrum dan tulang tangan serta tulang kaki juga telah digunakan untuk memperkirakan tinggi badan. Pada jasad manusia yang dimutilasi dan dipotong-potong, ada kemungkinan besar untuk menemukan tulang sternum yang masih utuh. Dalam hal ini, para peneliti sebelumnya telah mempublikasikan penelitian tentang estimasi usia, jenis kelamin dan tinggi badan dari tulang sternum. Selain itu, ada beberapa ciri khas dari tulang sternum yang dapat digunakan untuk identifikasi dalam pemeriksaan forensik. Penelitian di Indonesia sudah pernah dilakukan oleh Yudianto A tahun 2006 pada orang Indonesia dan Affandi D tahun 2019 pada ras mongoloid di Provinsi Riau, dari penelitian tersebut didapatkan adanya korelasi antar panjang tulang sternum dengan tinggi badan. (Affandi et al., 2019b; Chandrakanth et al., 2015b; Darade et al., 2020a; Spradley, 2016a; Yonguc et al., 2015a; Zohlupui et al., 2023b)

Secara keseluruhan, kompleksitas variasi anatomi tulang sternum menekankan pentingnya penelitian populasi spesifik untuk mengembangkan model yang dapat digunakan secara luas dalam aplikasi forensik, jika tidak hasilnya akan tidak akurat. Sternum, dengan struktur dan sifat anatominya, memberikan data yang relevan dalam membangun profil biologis, terutama ketika tulang panjang tidak tersedia. Dengan mempertimbangkan dimorfisme seksual dan variasi populasi, metode berbasis sternum memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam kasus forensik yang kompleks. (Austin & King, 2016; Spradley, 2016b; Yonguc et al., 2015b)

Pencitraan radiologi telah menjadi salah satu alat yang sangat penting dalam bidang forensik, terutama dalam identifikasi profil biologis. Pencitraan radiologi tidak hanya berfungsi untuk mendeteksi adanya cedera atau penyakit, tetapi juga untuk mengidentifikasi individu berdasarkan karakteristik biologis mereka. Penggunaan teknik pencitraan seperti X-ray, *Computed Tomography* (CT), dan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) telah menunjukkan hasil yang signifikan dalam membantu penyelidikan forensik, terutama dalam kasus-kasus yang melibatkan identifikasi jenazah yang tidak dapat dikenali. (Zhang, 2022)

Beberapa penelitian tentang tulang sternum telah memasukkan *Computed Tomography* (CT) sebagai metode untuk memperkirakan usia dan jenis kelamin. Penelitian Maha et al. tahun 2021 pada 165 gambar *Computed Tomography* (CT) tulang sternum menyimpulkan bahwa semua pengukuran sternum berguna dalam mengevaluasi dimorfisme seksual. Rumus regresi logistik biner merupakan metode metrik yang valid untuk prediksi jenis kelamin di antara populasi Mesir. Di sisi lain, untuk estimasi usia, tahap fusi sendi sternum memiliki nilai yang terbatas karena variabilitasnya yang tinggi dan rentang fusi yang luas. Namun, model regresi logistik untuk prediksi usia dapat membantu ketika digunakan untuk perempuan atau ketika jenis kelamin tidak diketahui. (Ali et al., 2021)

Dalam konteks estimasi menggunakan pengukuran sternum, penting untuk mengakui adanya variasi morfologi sternum pada populasi tertentu, yang menekankan pentingnya kehati-hatian saat menggeneralisasi temuan dari satu populasi ke populasi lain. Penelitian lebih lanjut pada populasi yang beragam sangat penting untuk menetapkan peran pengukuran sternum dengan kepastian yang lebih besar. (Hanzelyová et al., 2024)

Memperkenalkan teknik radiografi canggih, seperti *Computed Tomography* (CT) ke dalam bidang forensik sangat penting karena kecepatan dan kemampuannya untuk memberikan data kuantitatif dan fitur tulang yang berkualitas tinggi dengan metode non-invasif dan non-destruktif. Meskipun pencitraan radiologi menawarkan banyak manfaat, terdapat pula tantangan yang harus dihadapi. Salah satunya adalah interpretasi hasil yang memerlukan keahlian khusus dan pengalaman. Tanpa pemahaman yang mendalam tentang teknik pencitraan dan anatomi manusia, hasil yang diperoleh bisa saja menyesatkan. Sehingga kolaborasi antara radiolog dan ahli forensik sangat penting dalam memastikan akurasi dan validitas hasil yang diperoleh. Oleh karena itu, perlu untuk mempelajari tulang sternum dari sampel populasi Sulawesi Selatan menggunakan gambaran CT-Scan Sternum dengan reformat *3D Bone* sehubungan dengan validitas pengukuran tulang sternum untuk estimasi jenis kelamin dan suku serta tahap fusi sendi untuk estimasi usia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut; "Bagaimana analisis morfometrik tulang sternum dari gambaran CT-Scan Sternum dengan reformat *3D Bone* dalam hubungannya dengan penentuan profil biologis"

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Mengetahui peran tulang sternum dari gambaran CT-Scan Sternum dengan reformat *3D Bone* untuk kepentingan proses identifikasi forensik pada populasi Provinsi Sulawesi Selatan Indonesia.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Mengetahui karakteristik tulang sternum dari gambaran CT-Scan reformat *3D Bone* terhadap usia, jenis kelamin dan suku pada populasi Provinsi Sulawesi Selatan.

2. Mengetahui hubungan antara tulang sternum dari gambaran CT-Scan reformat *3D Bone* dengan penentuan usia, jenis kelamin dan suku pada populasi Provinsi Sulawesi Selatan.
3. Mengetahui nilai standar spesifik morfometrik tulang sternum dari gambaran CT-Scan reformat *3D Bone* dalam penentuan usia, jenis kelamin dan suku pada populasi Provinsi Sulawesi Selatan.
4. Mengetahui parameter morfometrik terbaik dari tulang sternum menggunakan gambaran CT-Scan reformat *3D Bone* serta keakuratannya dalam penentuan usia, jenis kelamin dan suku pada populasi Provinsi Sulawesi Selatan.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat bagi Ilmu Pengetahuan

1. Menambah literatur pemanfaatan tulang sternum dalam proses identifikasi forensik terutama pada populasi Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Mengembangkan potensi penelitian lebih lanjut mengenai parameter tulang sternum dalam proses identifikasi forensik di Indonesia

1.4.2 Manfaat bagi Masyarakat

1. Menambah wawasan bagi masyarakat terkait pentingnya peran dan proses identifikasi forensik di Indonesia
2. Menambah indikator identifikasi yang akurat pada temuan jenazah yang belum diketahui identitasnya, terutama yang telah menjadi kerangka dan ditemukan tulang sternum.

1.4.3 Manfaat bagi Institusi

1. Menjadi bentuk pengamalan Tri Dharma perguruan tinggi yaitu pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada Masyarakat.
2. Meningkatkan kolaborasi antar departemen dalam Institusi dari bidang Pendidikan maupun penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Profil Biologis

Identifikasi merupakan proses dua langkah, langkah pertama melibatkan estimasi profil biologis yang bertujuan untuk mempersempit pencarian dan langkah kedua melibatkan perbandingan data ante-mortem dan post-mortem yang bertujuan untuk mencari karakteristik individu. Akan tetapi, data ante-mortem tersebut mungkin tidak tersedia. Oleh karena itu, banyak perhatian telah diberikan pada estimasi profil biologis. Secara klasik, profil biologis telah didefinisikan oleh perkiraan jenis kelamin biologis, usia pada saat kematian, ras/suku bangsa, dan tinggi badan. Empat deskriptor yang ditentukan secara genetis (yaitu jenis kelamin, ras/suku bangsa, dan tinggi badan) atau diperkirakan berdasarkan pertumbuhan fisiologis yang stabil dan degenerasi kerangka dari waktu ke waktu (yaitu usia pada saat kematian). Ketika dihadapkan pada sisa-sisa kerangka, salah satu tugas utama antropolog forensik adalah membangun profil biologis yang sesuai dengan serangkaian karakteristik biologis yang dapat ditentukan setelah kematian dari sisa-sisa tubuh, tetapi menggambarkan individu selama hidup, dan khususnya, pada saat kematian mereka. Dalam keilmuan forensik, tujuan profil biologis adalah untuk menyediakan sebanyak mungkin deskriptor biologis yang relevan untuk mempersempit daftar orang hilang dalam pencarian identitas yang dimiliki oleh sisa-sisa kerangka. Semua informasi yang dapat diperkirakan dari sisa-sisa kerangka ditentukan oleh proses biologis yaitu sebuah teka-teki dimana setiap bagiannya memberikan satu informasi lebih lanjut terkait identitas seseorang. (Ali et al., 2021; Biehler-Gomez et al., 2024; Hackman et al., 2022)

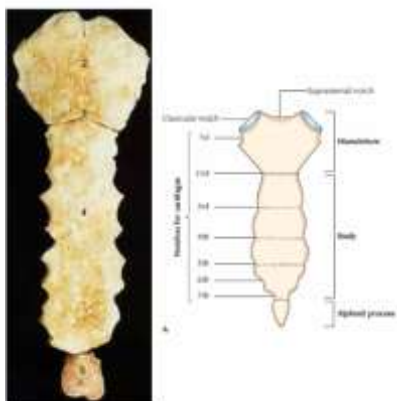
Komponen profil biologis yang paling penting adalah jenis kelamin karena bersifat sifat biologis yang menjadi dasar estimasi sifat-sifat lainnya. Selain itu, estimasi jenis kelamin yang akurat mempersempit bidang pencarian hingga setengahnya. Komponen profil biologis berikutnya yang penting adalah estimasi usia untuk memperkecil perkiraan data pencarian. (Ali et al., 2021; Manoharan et al., 2016)

Pengukuran utama profil biologis dapat dilakukan melalui identifikasi struktur kerangka tulang. Jenis tulang yang dianggap paling akurat dalam menentukan profil biologis adalah panggul dan tengkorak. Akan tetapi kedua jenis tulang ini memiliki keterbatasan karena kerentanannya terhadap kerusakan, variabilitas anatomi, dan kesulitan dalam analisis pada beberapa individu. Oleh karena itu, diperlukan elemen kerangka alternatif sebagai indikator potensial menentukan profil biologis. Salah satu elemen tersebut adalah sternum yang sering kali dipilih karena lebih mudah ditemukan dalam kondisi utuh, memiliki ciri khas yang dapat membantu dalam penentuan profil biologis, dan lebih tahan terhadap kerusakan dalam banyak kasus. Sternum dapat ditemukan utuh, mengingat posisinya yang relatif terlindungi di dalam tubuh. Telah banyak penelitian yang ditujukan untuk memperkirakan jenis kelamin biologis, usia kematian, dan tinggi badan. Akan tetapi, perubahan morfologi sternum

yang dipengaruhi oleh faktor usia atau kondisi kesehatan juga menjadi kendala. Contohnya proses osifikasi pada sternum, seperti penyatuan xiphoides dengan corpus sterni di usia sekitar 40 tahun dan manubrium di usia 60 tahun, dapat menghasilkan variasi dimensi yang memengaruhi keakuratan pengukuran. Faktor-faktor lain seperti adanya kelainan tulang, cedera, atau deformitas juga dapat mengurangi presisi hasil estimasi. Perbedaan metode pengukuran, baik menggunakan alat manual maupun digital, serta kondisi tulang yang digunakan (kering atau segar) juga memengaruhi konsistensi data. Variasi kecil dalam teknik atau alat pengukuran dapat menghasilkan data yang kurang reliabel, sehingga mengurangi nilai prediktif dalam aplikasi forensik. Selain itu, adanya trauma seperti cedera atau patah menyebabkan perubahan bentuk atau penyatuan yang tidak normal, maka informasi yang bisa diambil untuk estimasi usia dan jenis kelamin bisa menjadi tidak akurat atau hilang sama sekali. (Hanzelyová et al., 2024; Jeamamornrat et al., 2022)

2.2 Anatomi dan Struktur Tulang Sternum

Tulang sternum adalah tulang pipih yang terletak di bagian anterior Toraks dan menjadi bagian penting dari kerangka aksial manusia. Sternum dibagi menjadi tiga bagian yaitu manubrium di sisi atas, corpus sterni di tengah yaitu mesosternum dan processus xiphoides di sisi distal atau bawah. Manubrium sterni membentuk sebagian dari kerangka tulang leher dan cavitas thoracis. Permukaan superior manubrium terbentang ke lateral dan memiliki cekungan yang unik dan dapat diraba di bagian tengahnya, incisura jugularis (suprasternalis) / *jugular notch (suprasternal notch)*. Untuk corpus sterni, permukaan anteriornya seringkali ditandai dengan rigi-rigi transversus yang merupakan garis-garis penyatuan antara bagian-bagian segmental yang bernama sternebrae, yang merupakan asal embriologi bagian sternum. Tepi inferior corpus sterni melekat pada processus xiphoides. Yang terakhir adalah processus xiphoides yaitu bagian terkecil dari sternum. Bentuknya bervariasi: bisa lebar, tipis, menajam, bercabang dua / bifida, melengkung, atau terbelah. Dimulai sebagai struktur cartilago, yang mengalami proses osifikasi / penulangan saat dewasa. (Rohen et al., 2010)



Gambar 1. Anatomi Sternum. (Rohen et al., 2010)

Hingga masa pubertas, mesosternum terdiri dari empat bagian kecil yang disebut *sternebrae*. Karena hubungan dengan tulang rusuk, bagian-bagian ini tampak terpisah. Panjang total sternum pada pria sekitar 17 cm, sedangkan pada wanita lebih pendek. Rasio panjang manubrium dan mesosternum berbeda antara pria dan wanita. Pertumbuhan sternum bisa terus berlanjut setelah usia 30 tahun, bahkan mungkin sepanjang hidup. Pada posisi tubuh alami, sternum condong ke bawah dan sedikit ke depan. Bentuknya cembung di depan, cekung di belakang, dan paling lebar di bagian yang terhubung dengan tulang rawan rusuk pertama. Di sendi manubriosternal, sternum lebih sempit, lalu melebar menuju sendi dengan tulang rawan rusuk kelima, dan kemudian menyempit lagi di bawahnya. Sternum memiliki tulang berstruktur trabekular yang sangat banyak pembuluh darahnya, yang dilapisi lapisan tulang kompak yang paling tebal di manubrium antara lekukan *clavicula*. Bagian tengah tulang lebih ringan, sementara bagian sampingnya lebih tebal dan lebih lebar. Di dalamnya, terdapat sum-sum tulang yang berfungsi untuk pembentukan darah. (Jaiswal, 2018)

Tulang sternum memainkan peran penting dalam melindungi organ vital seperti jantung, paru-paru, dan pembuluh darah besar dari trauma fisik. Selain itu, sternum juga menjadi pusat kestabilan bagi dinding dada anterior, dengan fungsi pendukung bagi sistem pernapasan dan struktur Toraks secara keseluruhan. Karena sifat struktural dan lokasinya yang terlindungi, sternum sering kali tetap utuh bahkan dalam kasus trauma berat atau kerusakan akibat dekomposisi, menjadikannya alat penting dalam analisis forensik. (Austin & King, 2016; Spradley, 2016b; Yonguc et al., 2015b)

2.3 Pencitraan Radiologi dalam Identifikasi Profil Biologis bidang Forensik

Pencitraan radiologi merupakan alat yang sangat penting dalam investigasi forensik, karena dapat memberikan informasi yang tidak dapat diakses melalui metode pemeriksaan fisik biasa. Teknik ini mencakup berbagai metode, seperti X-Ray, *Computed tomography* (CT), dan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), yang memungkinkan penegak hukum dan ahli forensik untuk menganalisis bukti dengan cara yang lebih mendalam dan akurat. Penggunaan pencitraan radiologi dalam kasus forensik meningkat hingga 30% dalam lima tahun terakhir, menunjukkan pentingnya teknologi ini dalam membantu penyelesaian kasus. (Zhang, 2022)

Dalam kasus identifikasi korban bencana alam, pencitraan radiologi dapat digunakan untuk menentukan usia, jenis kelamin, dan bahkan ras dari individu tersebut hanya berdasarkan struktur tulang. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya pencitraan radiologi dalam memberikan informasi yang krusial bagi penyelidik forensik. Lebih lanjut, pencitraan radiologi juga dapat membantu dalam mengidentifikasi tanda-tanda trauma yang mungkin terjadi sebelum kematian, yang dapat memberikan petunjuk penting dalam penyelidikan kriminal. (de Boer et al., 2019; Shahid Cholistani et al., 2024)

2.3.1 Penggunaan X-Ray dalam Identifikasi Profil Biologis

Pencitraan menggunakan X-Ray telah menjadi salah satu alat penting dalam bidang forensik, terutama dalam identifikasi profil biologis. X-Ray dapat memberikan gambaran yang jelas tentang struktur internal tubuh, yang sangat berguna dalam

kasus-kasus di mana identifikasi individu diperlukan. Penggunaan X-Ray dalam analisis forensik dapat membantu dalam menentukan usia, jenis kelamin, dan bahkan beberapa aspek dari latar belakang etnis seseorang berdasarkan karakteristik tulang. Misalnya, perbedaan dalam ukuran dan bentuk tulang panggul dapat digunakan untuk menentukan jenis kelamin individu dengan akurasi yang tinggi. (Lwaifi Alsulami et al., 2022; Mamabolo et al., 2020)

Terdapat beberapa keterbatasan dalam penggunaan X-Ray untuk identifikasi profil biologis. Salah satunya adalah resolusi gambar yang terbatas, yang mungkin tidak cukup untuk menganalisis detail halus dari struktur internal. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan penggunaan teknologi lain yang dapat melengkapi data yang diperoleh dari X-Ray. Keberhasilan penggunaan X-Ray dalam identifikasi profil biologis juga tergantung pada kualitas peralatan dan keterampilan operator. Dalam kasus forensik, penting untuk memiliki teknisi yang terlatih dan berpengalaman untuk memastikan bahwa gambar yang dihasilkan akurat dan dapat diandalkan. (Lwaifi Alsulami et al., 2022; Mamabolo et al., 2020)

2.3.2 Penggunaan *Computed Tomography* (CT) dalam Identifikasi Profil Biologis

Computed tomography (CT) adalah teknik pencitraan yang menghasilkan gambar potongan melintang dari tubuh. CT menawarkan keuntungan signifikan dibandingkan dengan X-Ray biasa, terutama dalam hal detail dan resolusi gambar. CT dapat memberikan informasi yang lebih mendalam tentang struktur tulang dan jaringan lunak, yang sangat penting dalam identifikasi profil biologis. Salah satu aplikasi utama CT dalam forensik adalah dalam analisis kerangka. Dengan kemampuan untuk menghasilkan gambar tiga dimensi, CT dapat membantu ahli forensik dalam menentukan karakteristik morfologi individu, seperti ukuran dan bentuk tengkorak, yang dapat memberikan petunjuk tentang usia, jenis kelamin, dan bahkan etnisitas. Analisis CT tengkorak dapat meningkatkan akurasi dalam identifikasi dibandingkan dengan metode tradisional. (Shahid Cholistani et al., 2024; Zhang, 2022)

Meskipun CT memiliki banyak keuntungan, ada beberapa tantangan yang harus dihadapi. Salah satunya adalah biaya tinggi dari peralatan CT dan kebutuhan untuk memiliki teknisi yang terlatih. Selain itu, paparan radiasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan X-Ray biasa juga menjadi perhatian, meskipun dosis yang digunakan dalam konteks forensik tetap dalam batas aman. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan penggunaan CT secara bijaksana dalam investigasi forensik. Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi CT, telah meningkatkan kemampuan pencitraan dan memungkinkan analisis yang lebih cepat dan lebih akurat. Dengan kemajuan ini, diharapkan bahwa penggunaan CT dalam identifikasi profil biologis akan semakin meluas dan memberikan kontribusi signifikan dalam bidang forensik. (Shahid Cholistani et al., 2024; Zhang, 2022)

2.3.3 Penggunaan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) dalam Identifikasi Profil Biologis

Magnetic Resonance Imaging (MRI) merupakan teknik pencitraan yang menggunakan medan magnet dan gelombang radio untuk menghasilkan gambar

detail dari jaringan lunak dalam tubuh. MRI memiliki keunggulan dalam visualisasi jaringan lunak yang tidak dapat dilihat dengan jelas menggunakan X-Ray atau CT. Penggunaan MRI dalam analisis forensik dapat memberikan informasi penting tentang kondisi jaringan lunak, seperti otot dan organ, yang dapat membantu dalam menentukan penyebab kematian atau mengidentifikasi trauma. (Shahid Cholistani et al., 2024; Zhang, 2022)

Identifikasi usia melalui MRI merupakan salah satu aspek penting dalam analisis forensik. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan morfologis pada jaringan lunak dan tulang dapat memberikan indikasi yang kuat mengenai usia seseorang. *Systematic Review* yang dilakukan oleh Tobel et al. tahun 2019 menunjukkan bahwa dengan menggunakan MRI, dapat diamati perubahan dalam struktur tulang yang terjadi seiring bertambahnya usia. Hal ini dapat dilakukan dengan menganalisis densitas mineral tulang dan perubahan bentuk tulang yang dapat diukur melalui pemindaian MRI. Identifikasi jenis kelamin juga dapat dianalisis melalui teknik MRI, berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa karakteristik morfologis tertentu pada tubuh manusia dapat digunakan untuk menentukan jenis kelamin individu. Penelitian oleh Amer et al. tahun 2024 menemukan bahwa jenis kelamin dapat dinilai dari parameter metrik tangan dan kaki yang diukur dengan MRI dengan akurasi tinggi. Pengukuran berbagai parameter tubuh menggunakan MRI, seperti panjang tulang dan proporsi tubuh, dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi badan seseorang. Studi oleh Ulu et al. tahun 2020 menyimpulkan bahwa pengukuran vertebra C2 dengan pencitraan MRI berguna untuk estimasi tinggi badan individu Turki, terutama jika pengukuran tulang panjang tidak memungkinkan. (Amer et al., 2024; De Tobel et al., 2020; Kayahan Ulu et al., 2022)

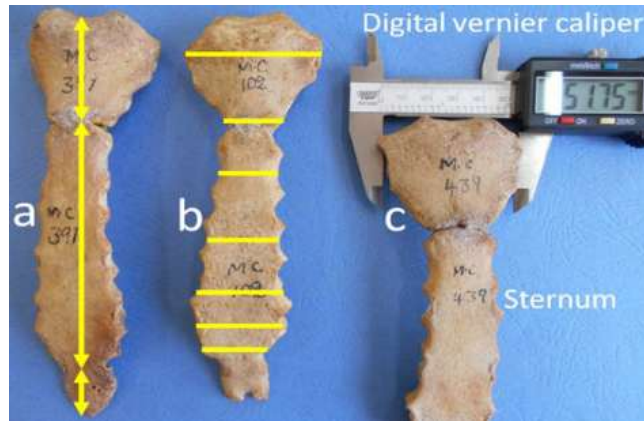
2.4 Metode Pengukuran Sternum

2.4.1 Metode Visual

Jenis kelamin dapat diketahui dengan pemeriksaan mata telanjang dari variasi anatominya. Metode ini melibatkan pengamatan ciri-ciri morfologi sternum, termasuk bentuk, ukuran, dan tingkat osifikasi atau fusi komponen sternum. Namun, akurasi metode ini rendah dikarenakan pemeriksaan visual dapat menghasilkan hasil yang subjektif tanpa adanya standar yang jelas untuk setiap individu. (Manoharan et al., 2016)

2.4.2 Pengukuran Metrik Langsung

Pengukuran metrik langsung untuk mengukur panjang sternum adalah metode untuk mengukur panjang tulang dada (sternum) menggunakan alat pengukur (seperti jangka sorong atau pita ukur) untuk menentukan panjang dari bagian atas sternum (manubrium) hingga ujung bawah (processus xiphoideus). Pengukuran ini biasanya dilakukan pada kerangka manusia melalui proses otopsi. Alat untuk mengukurnya dapat menggunakan *digimatic caliper* atau *digital vernier caliper*. (Jaiswal, 2018)



Gambar 2. Pengukuran sternum menggunakan *digital vernier caliper* (Kirum et al., 2020)

Kelebihan pengukuran ini adalah sebagai berikut: (Kirum et al., 2020)

a. Kesederhanaan dan Kepraktisan

Pengukuran ini relatif mudah dilakukan tanpa memerlukan alat canggih atau teknologi tinggi. Ini membuatnya praktis dalam situasi darurat atau ketika hanya ada akses ke kerangka fisik.

b. Akurasi

Jika dilakukan dengan hati-hati, pengukuran langsung bisa sangat akurat, terutama jika dilakukan oleh seorang ahli forensik atau antropolog yang berpengalaman.

c. Dapat Digunakan di Berbagai Kondisi

Teknik ini dapat diterapkan pada kerangka manusia yang sudah tidak lengkap atau hanya ada bagian-bagian tertentu dari tubuh yang ditemukan. Ini sangat berguna dalam konteks forensik.

d. Tidak Memerlukan Alat Khusus atau Penggambaran

Pengukuran langsung dapat dilakukan secara langsung pada tubuh atau kerangka, tanpa memerlukan alat pencitraan medis seperti X-ray atau CT.

Adapun kekurangan pengukuran ini adalah : (Kirum et al., 2020)

a. Keterbatasan dalam Variabilitas Individu

Ada banyak variabilitas dalam morfologi sternum antar individu, yang bisa disebabkan oleh faktor genetik, etnis, atau usia. Ini bisa mempengaruhi ketepatan estimasi yang dihasilkan.

b. Pengaruh Kelainan atau Kerusakan

Jika sternum mengalami patah atau kerusakan, pengukuran bisa jadi tidak akurat atau bahkan tidak dapat dilakukan. Kondisi ini sering terjadi dalam situasi forensik dimana kerangka telah terdegradasi.

c. Kesulitan pada Usia Lanjut

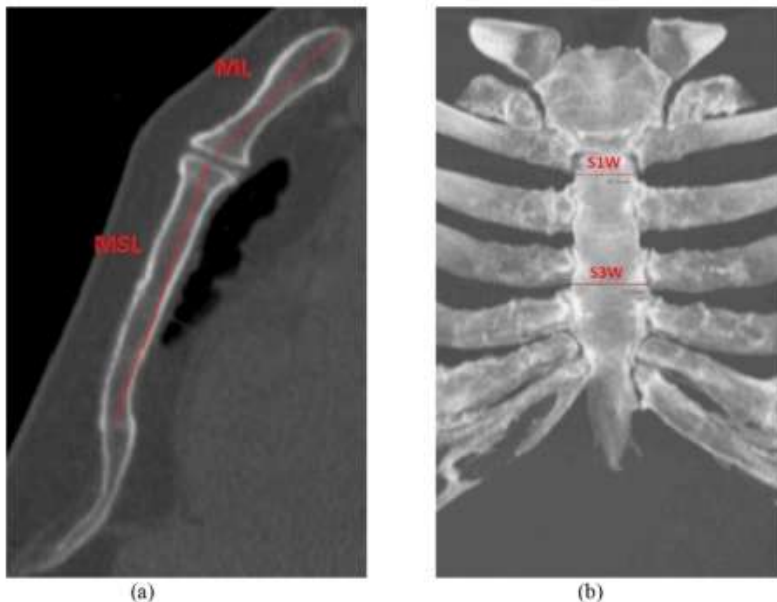
Pada individu yang lebih tua, bagian-bagian sternum, terutama processus xiphoideus, bisa berubah atau lebih sulit diukur dengan tepat karena proses osifikasi atau degenerasi. Hal ini menyulitkan penilaian panjang sternum yang lebih akurat.

d. Kesalahan dalam Teknik Pengukuran

Pengukuran metrik langsung sangat bergantung pada keterampilan dan pengalaman pengukur. Jika teknik pengukuran tidak hati-hati, hasilnya bisa dipengaruhi oleh faktor seperti kelengkungan sternum atau ketidakrataan permukaan yang bisa membuat pengukuran menjadi kurang akurat.

2.4.3 Pengukuran Menggunakan *Computed Tomography* (CT)

Computed Tomography (CT) adalah teknologi pencitraan medis yang menggunakan sinar-X untuk membuat gambar 3 Dimensi (3D) dari struktur tubuh. Pada pengukuran panjang sternum menggunakan CT, teknologi ini memungkinkan untuk memperoleh gambaran yang sangat detail dari seluruh bagian tulang dada (sternum), termasuk manubrium, mesosternum (corpus sterni), dan processus xiphoideus. (Ali et al., 2021)



Gambar 3. Pengukuran sternum menggunakan pencitraan CT. (Ali et al., 2021)

Secara teknis, CT dan MRI memiliki resolusi tinggi dan memungkinkan gambar tiga dimensi diperoleh. Properti ini dapat memberikan informasi terperinci untuk studi morfometri. Terdapat peningkatan 86% dalam penggunaan CT dan peningkatan 125% dalam modalitas MRI. Berdasarkan peningkatan jumlah studi berbasis radiologi dan analisis yang tepat, tulang lain, seperti sternum, juga dapat digunakan untuk evaluasi antropologi forensik. CT dapat digunakan untuk analisis morfometrik pada subjek yang masih hidup atau maupun yang sudah meninggal. (Ekizoglu et al., 2014)

Pengukuran menggunakan CT memiliki kelebihan akurasi yang tinggi karena CT memberikan gambar dengan resolusi yang sangat tinggi, memungkinkan pengukuran panjang sternum dengan tingkat ketepatan yang sangat baik. Hal ini mengurangi kesalahan pengukuran yang sering terjadi dengan metode lain, seperti pengukuran manual. Namun memiliki keterbatasan terkait biaya yang tinggi. (Zhang, 2022)

2.5 Estimasi Jenis Kelamin Berdasarkan Panjang Tulang Sternum

Perkiraan jenis kelamin merupakan langkah awal yang penting dalam mengembangkan profil biologis untuk sisa-sisa kerangka manusia karena metode untuk menetapkan tinggi badan dan usia saat kematian sering kali bergantung pada jenis kelamin. Penilaian karakteristik demografi ini lebih dapat diandalkan jika panggul dan tengkorak lengkap tersedia untuk analisis. Namun, hal ini sering kali tidak terjadi dalam penyelidikan forensik dan bioarkeologi, sehingga perlu untuk dapat memprediksi jenis kelamin dari berbagai elemen kerangka. Kemampuan untuk memperkirakan jenis kelamin dari berbagai tulang sangat penting dimana sisa-sisa yang tidak teridentifikasi sering kali tidak lengkap atau terfragmentasi karena berbagai proses tafonomik. Kegunaan sternum semakin ditingkatkan oleh fakta bahwa tulang ini seringkali terdapat dalam sisa-sisa yang membusuk atau menjadi kerangka. Sternum telah mengalihkan perhatian para peneliti yang menyarankan nilai diagnostiknya yang tinggi untuk estimasi jenis kelamin dan ketahanan terhadap kerusakan rangka tingkat lanjut. Variabel sternum tidak sama dalam tingkat kegunaannya untuk estimasi jenis kelamin. Dimorfisme seksual sternum bergantung pada perbedaan panjang dan proporsi manubrium dan corpus sterni antara kedua jenis kelamin. Estimasi jenis kelamin dapat dilakukan dengan metode morfologi atau metrik. (Ali et al., 2021)

Struktur dan ukuran tulang sternum menunjukkan variasi yang signifikan berdasarkan jenis kelamin, usia, dan asal etnis individu. Panjang total tulang sternum secara konsisten lebih besar pada pria dibandingkan wanita, mencerminkan dimorfisme seksual yang jelas. Panjang corpus sterni dan manubrium lebih panjang pada pria, memberikan dasar bagi penilaian jenis kelamin. Selain itu, perkembangan dan penggabungan tulang-tulang komponen sternum seperti *processus xiphoideus* berbeda pada berbagai kelompok usia, dengan penggabungan penuh biasanya terjadi setelah usia 40 tahun. (Austin & King, 2016; Spradley, 2016b; Yonguc et al., 2015b)

Sejumlah penelitian telah meneliti kegunaan sternum sebagai pembeda jenis kelamin. Saat mengidentifikasi sisa-sisa tulang, memperoleh nilai referensi yang tepat sangat penting, mengingat adanya variasi dalam pengukuran sternum di berbagai populasi dan kerangka. Evaluasi akurat morfologi sternum tertentu menjadi penting saat membedakan antara pria dan wanita. (Hanzelyová et al., 2024)

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Manoharan et al. tahun 2016 menggunakan metode metrik dengan pengukuran *digital vernier calliper*. Cara pengambilan sternum dilakukan melalui pembedahan dan maserasi jaringan lunak, 103 sternum (53 laki-laki dan 50 perempuan) berusia antara 15 tahun hingga 75 tahun diperoleh dari mayat yang diotopsi di India. Pengukuran osteometrik menggunakan beberapa komponen yaitu panjang manubrium, panjang corpus sterni, panjang manubrium dan corpus sterni, lebar manubrium, lebar badan sternum (diukur pada bagian terlebarnya), dan indeks sternal. Data yang terkumpul dicatat, ditabulasi, dan dianalisis secara statistik. Nilai minimum, maksimum, rata-rata, median, dan simpangan baku pengukuran untuk pria dan wanita disajikan secara terpisah pada tabel dibawah ini. (Manoharan et al., 2016)

Tabel 1. Nilai minimum, maksimum, rata-rata, median, dan simpangan baku pengukuran untuk pria dan wanita disajikan secara terpisah pada tabel dibawah ini.

	Minimum		Maximum		Mean		Median		SD (±)		P Value
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
LB in mm	72	54	108	87	94.1	75.5	95	77	9.0	9.3	p<0.0001
LM in mm	38	39	60	50	49.6	45.8	50	45	5.6	3.9	p<0.001
BB in mm	29	22	48	38	36.9	31.3	36	32	4.5	5.4	p<0.0001
BM in mm	48	40	74	60	60.7	52.2	61	52	6.3	5.5	p<0.0001
LMB in mm	119	98	160	136	142.7	119.3	142	114	10.1	11.3	p<0.0001
Sternal index	37.3	47.1	69.4	90.7	52.3	60.6	51	59	8.4	9.0	p<0.001

LB-Length of Body of Sternum, LM-Length of Manubrium, BB-Breadth of Body of Sternum, BM-Breadth of Manubrium, LMB-Combined length of Manubrium and Body, SD-standard deviation, M-Male, F-Female.

Sumber: (Manoharan et al., 2016)

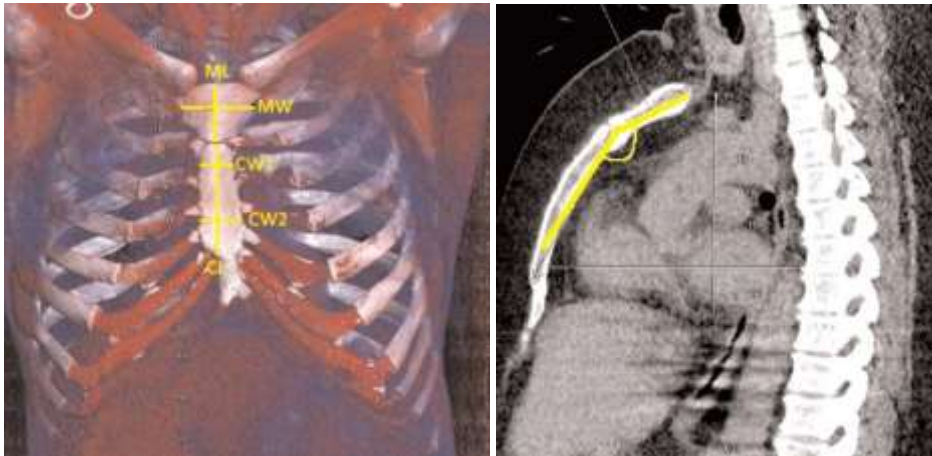
Penelitian ini memberikan nilai rata-rata untuk setiap pengukuran (berdasarkan jenis kelamin) yang akan membantu memberikan gambaran mengenai jenis kelamin individu. Untuk sternum dengan rentang yang meragukan, jenis kelamin dapat diidentifikasi dengan bantuan tulang-tulang lainnya. Akurasi lebih tinggi pada panjang corpus sternum dan panjang manubrium pada kedua jenis kelamin. Jika dilihat secara keseluruhan, panjang corpus sternum dan panjang manubrium pada pria merupakan parameter yang lebih dapat diandalkan. (Manoharan et al., 2016)

Beberapa penelitian tentang sternum telah memasukkan *Computed Tomography* (CT), salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Maha et al. di Mesir tahun 2021 sebagai metode untuk memperkirakan jenis kelamin. Mereka menyimpulkan bahwa di antara pengukuran osteometrik, panjang corpus sternal dan lebar dianggap paling akurat untuk estimasi jenis kelamin. (Ali et al., 2021)

Computed Tomography (CT) adalah standar emas untuk mengevaluasi jaringan tulang dengan mudah memberikan rincian pencitraan sternum melalui pengetahuan tentang osifikasi, variasi dan anatomi morfologi sternum. Pada pengukuran menggunakan CT dapat menunjukkan beberapa hal, yaitu: (Bolatli et al., 2020)

1. Lebar manubrium/*manubrium width* (MW) : jarak antara titik tengah takik kosta pertama kanan dan kiri pada CT tampak coronal pada potongan coronal.
2. Panjang manubrium/*manubrium length* (ML) : jarak antara takik jugularis dan titik tengah manubriosternal pada CT tampak coronal pada potongan coronal/sagital.
3. Panjang corpus sternum/*corpus length* (CL) : jarak antara titik tengah manubriosternal sendi dan titik tengah sendi simfisis xiphosternal pada potongan coronal/sagital.

4. Lebar corpus sterni/*corpus width* (CW1) : jarak horizontal diukur antara takik sterni rusuk ke-2 dan ke-3 pada potongan coronal.
5. Lebar corpus sterni/*corpus width* (CW2) : jarak horizontal diukur antara takik sterni rusuk ke-4 dan ke-5 pada potongan coronal.
6. *Angle of Louis* (LA) : sudut antara manubrium dan tubuh diukur pada potongan sagital.



Gambar 4. CT potongan coronal dan sagital. (Bolatlı et al., 2020)

7. Sternum diperiksa dalam dua jenis menurut arah prosesus xiphoideus, tipe 1 dengan prosesus xiphoideus memiliki arah yang sama dengan corpus sterni dan tipe 2 dengan prosesus xiphoideus memiliki kemiringan ke arah ventral dari corpus sterni.



Gambar 5. Pencitraan CT arah processus xiphoideus. (Bolatlı et al., 2020)

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Ola et al. tahun 2017 yang meneliti estimasi jenis kelamin berdasarkan panjang sternum dan costae ke-4 menggunakan CT menyimpulkan bahwa panjang corpus sterni adalah yang paling dapat diandalkan sebagai parameter dalam penentuan jenis kelamin jika menggunakan satu pengukuran. Tetapi penggunaan teknik analisis multivariat (panjang corpus sterni,

panjang manubrium, lebar sternebra 1, lebar sternebra 3, dan lebar costae ke-4) menghasilkan estimasi jenis kelamin yang lebih sensitif dan spesifik. Disimpulkan bahwa CT merupakan alat yang akurat untuk penentuan jenis kelamin oleh sternum. (Abdel-Hady Sweilum I et al., 2017)



Gambar 6. CT Toraks (A) Pengukuran lebar manubrium (47,4 mm), (B) Pengukuran panjang mesosternal (8,27 cm/82,7 mm). (Abdel-Hady Sweilum I et al., 2017)



Gambar 7. CT Toraks pengukuran lebar costae ke 4 : kanan 15,3 mm dan kiri 13,9 mm. (Abdel-Hady Sweilum I et al., 2017)

Konsensus muncul dari berbagai penelitian yang dilakukan di berbagai populasi, yang menegaskan bahwa hasil estimasi jenis kelamin yang paling akurat diperoleh melalui panjang corpus sterni dan gabungan panjang manubrium dan corpus sterni. Dalam estimasi jenis kelamin dari sternum, dimorfisme seksual telah diperhitungkan, terutama saat menggunakan hukum Hyrtl. Menurut hukum Hyrtl,

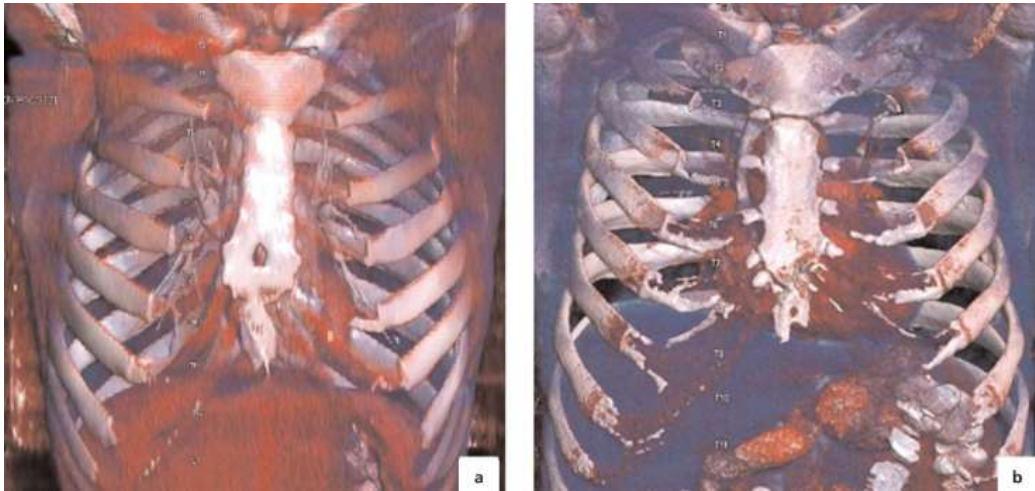
panjang manubrium sternum wanita harus lebih besar dari setengah panjang corpus sterni, sedangkan corpus sterni pria harus setidaknya dua kali lebih panjang dari manubrium. Hyrtl mengusulkan bahwa panjang manubrium dibandingkan dengan sternum menghasilkan rasio 1:2 pada wanita dan 2:1 pada pria. Namun, beberapa penelitian yang dilakukan pada populasi yang berbeda tidak mengonfirmasi keakuratan hukum ini. Akibatnya, tidak disarankan mengandalkannya untuk estimasi jenis kelamin pada populasi yang diteliti. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menentukan keandalan Hukum Hyrtl pada populasi lain. Terdapat aturan estimasi jenis kelamin berdasarkan panjang sternum yaitu aturan 149 oleh Ashley GT-1956 bahwa panjang sternum pria melebihi 149 mm sedangkan panjang sternum wanita kurang dari 149 mm. Aturan ini telah divalidasi oleh penelitian yang dilakukan Sharma et al pada populasi India tahun 2018. (Hanzelyová et al., 2024; Jaiswal, 2018; Spradley, 2016b)

Hasil penelitian mengenai estimasi jenis kelamin berdasarkan panjang sternum pada hampir semua populasi spesifik menunjukkan kesesuaian dengan aturan universal bahwa rerata panjang sternum pria lebih besar dibandingkan dengan wanita. (Ali et al., 2021)

2.6 Estimasi Usia Berdasarkan Morfologi Tulang Sternum

Sebagian besar metode yang dikembangkan untuk estimasi usia saat kematian dari tulang sternum didasarkan pada perubahan morfologisnya yaitu osifikasi. Sternum terbentuk melalui penyatuan dua lempeng tulang rawan yang terletak di kedua sisi bidang tengah tubuh. Cara penyatuan dan jumlah pusat osifikasi (titik pembentukan tulang) berbeda-beda, tergantung pada sejauh mana lempeng sternum bersatu dan waktu penyatuannya, serta lebar tulang pada orang dewasa. Jika penyatuan tidak sempurna, akan terbentuk sebuah lubang pada sternum (disebut foramen sternum). Manubrium mulai mengalami osifikasi (pembentukan tulang) dari satu hingga tiga pusat osifikasi yang muncul pada bulan kelima kehamilan. Dua bagian pertama dari sternabrae (bagian kecil sternum) biasanya mulai membentuk tulang dari pusat-pusat osifikasi tunggal yang muncul sekitar waktu yang sama. Pusat osifikasi pada sternabrae ketiga dan keempat biasanya berpasangan, dan muncul pada bulan kelima dan keenam kehamilan, tetapi salah satu dari pasangan tersebut bisa tertunda hingga bulan ketujuh atau kedelapan. Pusat osifikasi pada sternebra keempat kadang-kadang tidak ada. Processus xiphoideus mulai membentuk tulang pada usia tiga tahun atau lebih. Pada beberapa orang, semua pusat osifikasi bersifat tunggal dan terletak di tengah, sementara pada orang lain, pusat manubrium tunggal dan pusat sternabrae berpasangan, bisa simetris atau tidak simetris. Penyatuan antara pusat osifikasi pada mesosternum dimulai pada masa pubertas dan terjadi dari bawah ke atas. (Jaiswal, 2018)

Deteksi foramen pada processus xiphoideus dan corpus sterni dapat dilihat dari *Computerized Tomography* (CT). Adanya foramen dikaitkan dengan komplikasi fatal seperti tusukan sternum atau aspirasi sumsum sternum.

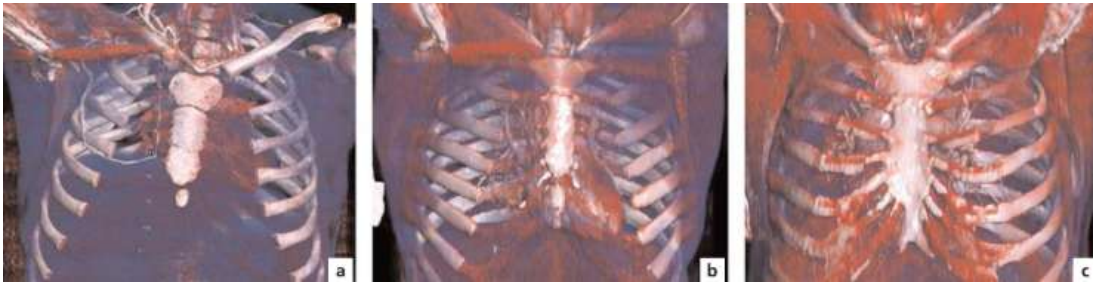


Gambar 8. Pencitraan sternum untuk deteksi foramen di corpus sterni (a) dan processus xiphoideus (b). (Bolatlı et al., 2020)

Untuk perkiraan umur, komponen sternum masing-masing yaitu manubrium, corpus sterni dan processus xiphoideus diperiksa untuk melihat fusi. Artikulasi manubrio-sternal dan xiphi-sternal dan segmen sternal diperiksa dengan cermat untuk derajat fusi yaitu lengkap/sebagian/tidak ada. Fusi sternum dimulai pada usia 20 tahun pada pria dan wanita. Fusi selesai pada usia 40 tahun laki-laki dan 45 tahun pada perempuan. Saat osifikasi berlangsung, manubrium bergabung dengan mesosternum dan mesosternum berartikulasi dengan xiphoideus melalui sendi tulang rawan primer atau sekunder. Manubrium menyatu dengan mesosternum pada usia tua biasanya di atas 50 tahun, segmen yang berbeda dari corpus sterni menyatu dalam usia 14 sampai 25 tahun dari bawah ke atas dan proses penyatuan xiphoideus dengan corpus sterni terjadi antara usia 40 sampai 45 tahun. Ketiga bagian sternum berkembang dari sejumlah pusat osifikasi yang bervariasi dan akibatnya, sebagian besar variasi yang terlihat pada sternum dapat dikaitkan dengan jumlah pola dan pusat osifikasi. (Chandrakanth et al., 2015a; Jaiswal, 2018)

Penelitian mengenai estimasi usia berdasarkan panjang tulang sternum dilakukan oleh Rafay et al. tahun 2023 di Pakistan dengan menggunakan metode pencitraan X-Ray Toraks anteroposterior (AP)/lateral. Hasil penelitian menunjukkan usia dapat diperkirakan dengan evaluasi radiografi melalui fusi komponen dari sternum. Processus xiphoideus dan manubrium berdifusi dengan corpus sternal dimulai setelah usia 30 tahun, sedangkan fusi sempurna terjadi setelah usia 60 tahun. (Siddiqui et al., 2023)

CT untuk menentukan perkiraan usia dapat dilakukan dengan mengevaluasi osifikasi sternum yang terbagi atas 3 klasifikasi, tipe 1 tidak ada osifikasi, tipe 2 osifikasi parsial, dan tipe 3 osifikasi lengkap.



Gambar 9. Pencitraan sternum untuk osifikasi sternum. (Bolatlı et al., 2020)

Tingkat osifikasi di antara kelompok yang berbeda menunjukkan bahwa osifikasi tertinggi terjadi pada kelompok umur 30–39 tahun, osifikasi parsial tertinggi pada kelompok usia 20-29 tahun, dan tidak ada osifikasi pada kelompok usia 0–9 seperti yang diharapkan. Diketahui bahwa manubrium dan corpus sterni dapat tetap menyatu dan jumlah penyatuan meningkat pada usia lanjut. Karena sendi manubriosternal mempunyai fibrokartilago, bahkan jika osifikasi telah selesai, struktur tulang rawan dipertahankan di dalam sendi. Tidak ada perbedaan gender yang signifikan mengenai osifikasi antara corpus sterni dan processus xiphoideus. Osifikasi sempurna dapat terjadi pada usia 60 tahun ke atas. (Bolatlı et al., 2020)

Pada gambar 10, penggabungan antara segmen pertama dan kedua telah dimulai pada usia di atas 16 tahun dan mencapai 100% pada usia 21 tahun. Penggabungan antara segmen ke-2 dan ke-3 telah dimulai di atas usia 16 tahun dan fusi 100% dicapai di atas usia 16 tahun sedangkan fusi antara segmen ke-3 dan ke-4 mungkin dimulai bahkan di bawah usia 14 tahun tetapi fusi adalah 100% di atas 14 tahun tanpa memandang jenis kelamin. (Manoharan et al., 2016)



Gambar 10. Fusi beberapa segmen corpus sternal. (Manoharan et al., 2016)

Estimasi usia setelah menyatunya corpus sterni dengan processus xiphoideus yaitu laki-laki menunjukkan fusi kelompok usia 30-39 tahun. Pada perempuan, fusi dimulai dari kelompok usia 40 tahun. 50% fusi diamati pada perempuan di antara kelompok umur dari 40-49 tahun. Di atas usia 40 tahun ditemukan persentase kasus yang menunjukkan fusi akan terus meningkat seiring

bertambahnya usia. Fusi mencapai 100% dari 60 tahun dan seterusnya terlepas dari jenis kelaminnya. (Manoharan et al., 2016)



Gambar 11. Fusi corpus sterni dan processus xiphoideus. (Manoharan et al., 2016)

Estimasi usia setelah penyatuan seluruh bagian sternum pada usia 60 -69 tahun menunjukkan fusi sempurna. (Manoharan et al., 2016)



Gambar 12. Fusi seluruh bagian sternum. (Manoharan et al., 2016)

Sebagian besar metode yang dikembangkan untuk estimasi usia saat kematian dari tulang sternum didasarkan pada perubahan morfologisnya. Khususnya, processus xiphoideus mengeras bersama corpus sterni sekitar usia 40 tahun, dan manubrium mengeras bersama corpus sterni sekitar usia 60 tahun.

Sebagian besar penelitian yang terutama menyelidiki keakuratan estimasi usia berdasarkan fusi sendi-sendi yang disebutkan mencapai kesimpulan yang konsisten. Usia pengerasan berbeda antara perempuan dan laki-laki, dan meskipun rentang usia pengerasan umum dipahami, kepatuhan terhadap rentang ini tidak universal. (Hanzelyová et al., 2024)

2.7 Estimasi Tinggi Badan berdasarkan Panjang Tulang Sternum

Tinggi badan mempunyai hubungan biologis yang pasti dan proporsional dengan bagian-bagian tubuh dan setiap tulang tubuh. Tulang panjang paling sering digunakan untuk memperkirakan tinggi badan. Namun, kerusakan sebagian atau total dari tulang panjang akibat fraktur, kerusakan, atau penyakit mengurangi jumlah informasi yang dapat diperoleh dari tulang-tulang ini dan mengurangi kemungkinan keberhasilan identifikasi. Oleh karena itu, estimasi tinggi badan perlu dilakukan dari tulang-tulang lainnya juga. Dalam literatur, faktor asal etnis, genetika, lingkungan, status sosial ekonomi dan pola makan telah dilaporkan memiliki efek pada tinggi badan. Pada gilirannya, faktor-faktor yang disebutkan diatas memengaruhi periode perkembangan individu yang termasuk dalam jenis kelamin atau populasi tertentu. Oleh karena itu, persamaan regresi untuk tulang yang berbeda perlu dikembangkan untuk zona geografis yang berbeda di dunia untuk memperkirakan tinggi badan. Tinggi badan kadaver yang diperkirakan dari mayat juga berbeda dengan tinggi badan pada orang hidup. Faktor penyebabnya adalah perubahan rigor mortis, perubahan yang bergantung pada usia, dan perbedaan posisi. (Yonguc et al., 2015a; Zohlupuii et al., 2023b)

Variasi anatomi juga terlihat pada populasi geografis yang berbeda. Misalnya, studi menunjukkan bahwa individu dari populasi Eropa cenderung memiliki panjang sternum yang lebih besar dibandingkan individu dari populasi Asia. Faktor genetik dan lingkungan seperti nutrisi, tingkat aktivitas fisik, serta kondisi medis selama masa pertumbuhan dapat memengaruhi variasi ini. Variasi anatomi ini menjadi penting untuk mempertimbangkan adaptasi model prediksi tinggi badan berbasis sternum pada populasi yang berbeda. (Austin & King, 2016; Spradley, 2016b; Yonguc et al., 2015b)

Dwight (Tahun 1890) adalah orang pertama yang menerbitkan studi tentang hubungan panjang tulang sternum dengan usia, jenis kelamin, dan tinggi badan. Tulang sternum terletak di tengah dinding anterior toraks dalam posisi anatomis. (Yonguc et al., 2015a)

Dalam konteks autopsi, pengukuran panjang tulang sternum dapat dilakukan dengan metode yang sistematis untuk mendapatkan hasil yang akurat. Biasanya, pengukuran dilakukan dari ujung atas manubrium sterni hingga ujung bawah prosesus xiphoideus. Metode ini telah terbukti efektif dalam studi autopsi yang dilakukan oleh Zohlupuii et al. tahun 2023 di mana para peneliti menemukan bahwa panjang sternum memiliki hubungan yang kuat dengan tinggi badan individu. Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan pada jenazah, dan hasilnya menunjukkan bahwa estimasi tinggi badan berdasarkan panjang sternum memberikan hasil yang konsisten. (Zohlupuii et al., 2023)

Dengan kemajuan teknologi medis, penggunaan CT untuk mengukur panjang sternum juga semakin umum. Studi oleh Masanovic et al. tahun 2020 menunjukkan bahwa pengukuran panjang sternum menggunakan CT menghasilkan estimasi tinggi badan yang lebih akurat, terutama pada populasi yang memiliki variasi morfologis. Selain itu, CT juga memungkinkan identifikasi kondisi patologis yang mungkin mempengaruhi pengukuran, sehingga memberikan data yang lebih lengkap untuk analisis. (Masanovic et al., 2020)

Tabel 2. Perbandingan morfometrik tulang sternum dari berbagai literatur

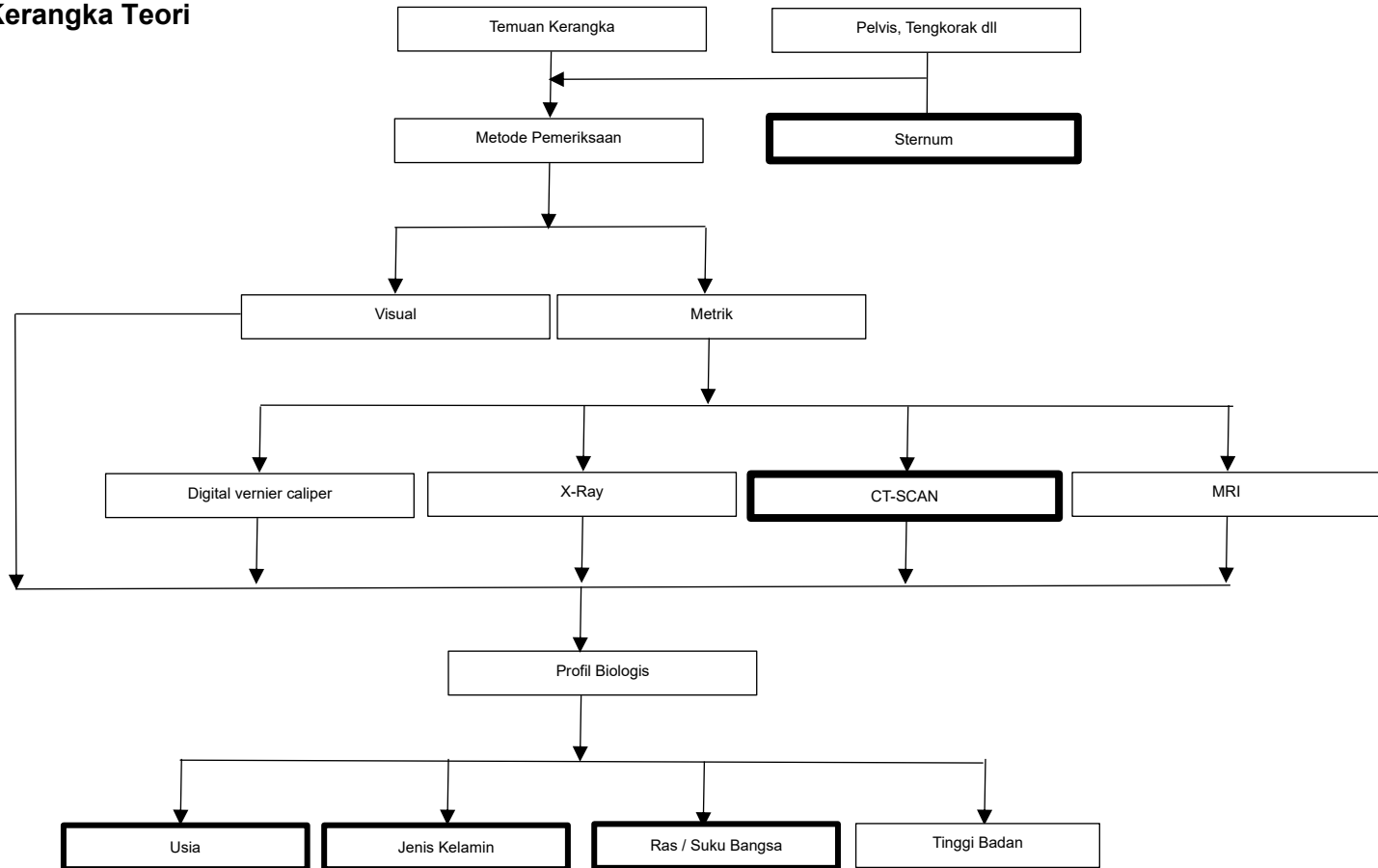
No	Studi	Metode	Populasi	Jumlah Sampel	Parameter	Hasil
1.	(Bongiovanni & Spradley, 2012)	Dry Bone	United States	285 Laki-laki, 125 Perempuan	ML, MSL, S1W, S3W	Semua parameter akurat pada penentuan jenis kelamin (84,12%)
2.	(Yonguc et al., 2015b)	Dry Bone	Turki	65 Laki-laki, 30 Perempuan	ML, SL, MSL,	Semua parameter akurat pada penentuan tinggi badan; SL dan MSL akurat pada penentuan jenis kelamin (90%)
3.	(Kirum et al., 2020)	Dry Bone	Uganda	75 Laki-laki, 10 Perempuan	ML, MW, MT, MI, SL, SW, ST, SI, XL	SL akurat pada penentuan jenis kelamin
4.	(Darade et al., 2020b)	Dry Bone	India	150 Laki-laki, 150 Perempuan	PCL, ML, MSL	SL parameter terbaik pada penentuan tinggi badan
5.	(Sahu et al., 2022)	Dry Bone	India	73 Laki-laki, 29 Perempuan	MXJ, MSJ	Fusi MXJ dan MSJ akurat pada penentuan usia
6.	(Ekizoglu et al., 2014)	CT	Turki	241 Laki-laki, 202 Perempuan	ML, MSL, MS1, MS3, SI	ML, MSL, MS1, MS3

No.	Studi	Metode	Populasi	Jumlah Sampel	Parameter	Hasil
				n		akurat pada penentuan jenis kelamin
7.	(Abdel-Hady Sweilum I et al., 2017)	CT	Mesir	159 Laki-laki, 102 Perempuan	SL, ML, MS1, MS3, 4 th Rib	SL akurat pada penentuan jenis kelamin dengan sensitivitas 90,6% dan spesifisitas 70,6%
8.	(Bolatlı et al., 2020)	CT	Turki	700 gambar CT	ML, SL, MW, MS1, MS3, MXJ, MSJ LA	MSJ akurat pada penentuan usia dan jenis kelamin
9.	(Ali et al., 2021)	CT	Mesir	165 gambar CT	ML, MSL, MS1, MS3, SI, MXJ, MSJ	ML, MSL, MS1, MS3, SI akurat pada penentuan jenis kelamin
10.	(Siddiqui et al., 2023)	X-Ray	Pakistan	180 pasien usia 25 – 70 tahun	MXJ, MSJ	Fusi MXJ dan MSJ akurat pada penentuan usia

CT: *Computed Tomography*, ML: *Manubrium Length*, MW: *Manubrium Width*, MT: *Manubrium Thickness*, MI: *Manubrium Index*, SL: *Sternal Body Length*, SW: *Sternal Body Width*, ST: *Sternal Body Thickness*, SI: *Sternal Body Index*, XL: *Xiphoid Process Length*, MXJ: *Mesosternum-Xiphisternal Junction*, MSJ: *Manubrium-Sternal Joint*, PCL: *Posterior Curved Length*, MSL: *Mesosternal Length*, MS1: *Sternebra 1 Width*, MS3: *Sternebra 3 Width*, LA: *Angle of Louis*

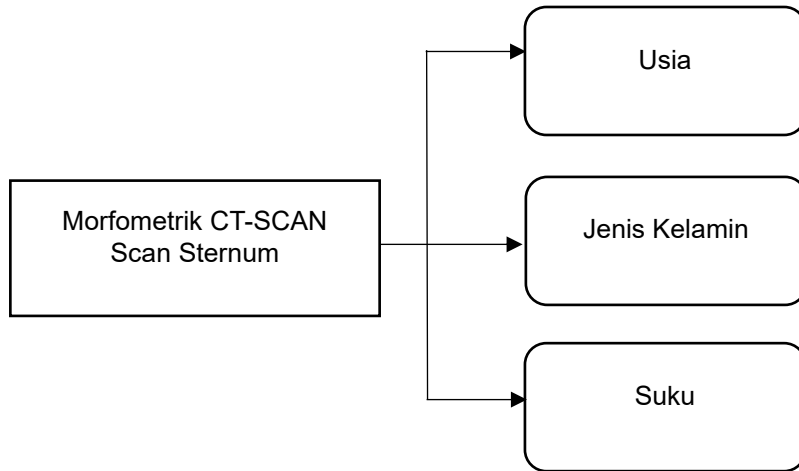
Sumber: (Abdel-Hady Sweilum I et al., 2017; Ali et al., 2021; Bolatlı et al., 2020; Bongiovanni & Spradley, 2012; Darade et al., 2020b; Ekizoglu et al., 2014; Kirum et al., 2020; Sahu et al., 2022; Siddiqui et al., 2023; Yonguc et al., 2015b)

2.8 Kerangka Teori



Bagan 1. Kerangka Teori

2.9 Kerangka Konsep



Bagan 2. Kerangka Konsep

Keterangan:



= variabel bebas / independen



= variabel terikat / dependen

2.10 Hipotesis Penelitian

H0 : Ada hubungan antara morfometrik tulang sternum dari gambaran CT-Scan Sternum dengan reformat *3D Bone* dengan penentuan usia, jenis kelamin dan suku.
H1: Tidak Ada hubungan antara morfometrik tulang sternum dari gambaran CT-Scan Sternum dengan reformat *3D Bone* dengan penentuan usia, jenis kelamin dan suku.