

# AUTOMATED SURGICAL GUIDE GENERATION FOR MICROTIA RECONSTRUCTION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND COMPUTER VISION

## Product Requirements, Technical Feasibility, and Clinical Implementation Report

TRISESA SADEWA / 5049221001

### BAB 1: PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar belakang

Mikrotia adalah kelainan bawaan pada telinga luar (pinna) yang ditandai dengan daun telinga yang kecil, kurang berkembang, atau tidak ada. Kondisi ini berkisar dari kelainan struktural ringan hingga anotia (tidak adanya telinga sama sekali). Dalam konteks global, mikrotia merupakan kondisi yang jarang terjadi; namun, di Indonesia dan sebagian Asia Timur, prevalensinya jauh lebih tinggi. Data epidemiologi terbaru dari Universitas Airlangga (2024) dan RSCM Jakarta menunjukkan prevalensi sekitar 1 dari 7.000 hingga 8.000 kelahiran.

Kondisi ini menghadirkan profil demografis yang unik di Indonesia:

- **Bias Gender:** Dominasi laki-laki yang signifikan (rasio Laki-laki:Perempuan sekitar 3,5:1).
- **Lateralitas:** sebagian besar mempengaruhi telinga kanan (60-80% kasus), yang secara klinis signifikan untuk perencanaan pembedahan karena memerlukan peniruan telinga kiri yang sehat.
- **Tingkat Keparahan:** Sebagian besar kasus adalah Grade 3 (Tipe Lobulus), yang secara umum dikenal sebagai "telinga kacang", di mana hanya sisa lobulus yang tersisa.

"Standar Emas" terkini untuk rekonstruksi di Indonesia adalah teknik Rekonstruksi Tulang Rawan Iga Autologus, yang dipopulerkan oleh Dr. Satoru Nagata. Prosedur kompleks dua tahap ini melibatkan pengambilan tulang rawan iga pasien (biasanya iga ke-6, 7, 8, dan 9) dan mengukirnya menjadi kerangka tiga dimensi yang dimasukkan di bawah kulit mastoid.

#### 1.2 Pernyataan Masalah

Meskipun teknik Nagata menawarkan hasil yang paling tahan lama dan aman secara imunologis (dibandingkan dengan implan Medpor sintesis), fase perencanaan pra-operasi di rumah sakit Indonesia sebagian besar masih kuno dan bergantung pada keterampilan manual:

1. **Defisit "Proyeksi" (2D vs. 3D):** Saat ini, ahli bedah mengandalkan templat 2D yang ditelusuri dari film rontgen telinga pasien yang sehat. Meskipun ini memberikan garis luar x/y yang benar, ia gagal menangkap topografi sumbu z. Telinga manusia memiliki kedalaman yang kompleks—konka dalam, sedangkan heliks dan anti-heliks menonjol

keluar. Templat 2D sering menghasilkan telinga yang "flat" yang kurang memiliki bayangan dan kontur alami, yang secara estetika dikenal sebagai "pancake ear".

2. **Ketergantungan dan Kelelahan Operator:** Memahat telinga 3D dari blok tulang rawan rusuk yang padat merupakan pekerjaan yang menuntut keahlian artistik. Biasanya membutuhkan waktu operasi 2-4 jam. Beban kognitif yang tinggi dan kelelahan fisik dapat menyebabkan kesalahan, seperti memahat pelat dasar terlalu tipis ( $<1,5$  mm), yang mengakibatkan pembengkokan atau patah.
3. **Kendala Ekonomi dan Sumber Daya:** Perencanaan "tercanggih" melibatkan pemindaian CT resolusi tinggi dan perangkat lunak komersial seperti Mimics/3-Matic, yang dapat berharga ribuan dolar per lisensi. Bagi sebagian besar pasien Indonesia yang bergantung pada BPJS (Jaminan Sosial), biaya ini sangat mahal. Selain itu, pemindaian CT memaparkan pasien anak pada radiasi pengion yang signifikan.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama proyek ini adalah untuk mengembangkan Auto-Microtia Guide Generator (AMGG), sebuah perangkat lunak berbiaya rendah dan mudah diakses yang mendemokratisasi perencanaan bedah presisi tinggi.

#### Tujuan Spesifik:

1. **Segmentasi Berbasis AI:** Untuk memanfaatkan Meta SAM (Segment Anything Model) untuk mengisolasi telinga yang sehat dari foto 2D standar yang diambil dengan smartphone, sehingga menghilangkan kebutuhan untuk penelusuran manual.
2. **Standardisasi Biomekanik:** Untuk menghasilkan panduan STL 3D secara algoritmik yang menerapkan "Batas Keamanan Nagata" (ketebalan dasar minimum 2.0 mm dan proyeksi heliks 5.0 mm).
3. **Fasilitasi Bedah:** Untuk menempatkan "Jendela Jahitan" (rongga 1,2mm x 2,7mm) secara otomatis pada titik jangkar kritis, sehingga mengurangi waktu yang dihabiskan ahli bedah untuk mengebor lubang secara manual.

### 1.4 Signifikansi Studi

- **Clinical:** Mengurangi waktu pembedahan, sehingga mengurangi durasi anestesi dan risiko infeksi.
- **Economic:** Menyediakan solusi perencanaan 3D "tanpa CT". Panduan bedah dapat dicetak pada printer resin SLA standar dengan harga di bawah Rp 20.000 (sekitar \$1,50), sehingga layak untuk rumah sakit umum.
- **Psychosocial:** Dengan meningkatkan simetri estetika rekonstruksi, sistem ini secara langsung mengatasi stigma sosial dan perundungan berat yang dihadapi anak-anak Indonesia dengan mikrotia, sehingga meningkatkan kualitas hidup dan integrasi sosial mereka.

## **BAB 2:**

### **TINJAUAN LITERATUR & KONTEKS KLINIS**

#### **2.1 Psikologi Mikrotia di Indonesia**

Cacat wajah kongenital, seperti mikrotia (kondisi kelainan bentuk telinga luar) memiliki dampak yang jauh melampaui aspek fisik, terutama dalam konteks budaya Indonesia di mana penampilan seringkali dikaitkan dengan stigma sosial yang signifikan. Penelitian mendalam mengenai "Dampak Psikososial Mikrotia" telah menggarisbawahi urgensi intervensi bedah rekonstruksi. Temuan kunci dari studi ini menunjukkan bahwa perkembangan kesadaran citra tubuh pada anak-anak mulai terbentuk secara kritis di sekitar usia 4-5 tahun. Pada fase perkembangan inilah anak mulai membandingkan diri mereka dengan teman sebaya, dan perbedaan fisik menjadi sumber kerentanan emosional.

Mikrotia yang tidak dikoreksi secara tepat waktu sering memicu serangkaian konsekuensi psikososial yang merugikan. Anak-anak penderita mikrotia sering menunjukkan gejala penarikan diri dari pergaulan, menghindari interaksi sosial, dan mengalami tingkat kecemasan yang tinggi terkait penampilan mereka. Selain itu, kondisi ini dapat berujung pada penolakan sekolah atau kesulitan dalam adaptasi lingkungan belajar, yang berpotensi menghambat perkembangan akademik dan sosial mereka secara keseluruhan.

Oleh karena itu, penentuan waktu pelaksanaan operasi rekonstruksi telinga (otoplasti) menjadi sangat krusial. Konsensus medis dan psikososial menyarankan agar operasi idealnya dilakukan sebelum anak memasuki jenjang sekolah dasar, yaitu pada rentang usia 6-8 tahun. Melakukan intervensi bedah sebelum periode ini dapat meminimalkan paparan anak terhadap potensi ejekan atau *bullying* dari teman sebaya, sehingga memungkinkan mereka memulai kehidupan sekolah dengan rasa percaya diri yang lebih tinggi dan citra diri yang lebih positif. Peran Teknologi dalam Percepatan Proses Perawatan

#### **2.2 Teknik Nagata: Merekayasa Kerangka Kerja**

Untuk membangun perangkat lunak untuk pembedahan, seseorang harus memahami "rekayasa" dari prosedur biologis tersebut. Kerangka kerja Nagata dibangun dalam lapisan-lapisan spesifik:

1. **Rangka Dasar (Rangka Rusuk 6 & 7):** Ini membentuk lempeng dasar, termasuk scapha dan fossa triangularis. Batasan Rekayasa: Harus memiliki ketebalan minimal 2 mm untuk mencegah perubahan bentuk.
2. **Struktur Atas (Rib 8):** Ini adalah lapisan "Relief". Lapisan ini membentuk Helix (tepi luar) dan Anti-Helix (tonjolan berbentuk Y di dalam telinga). Batasan Rekayasa: Lapisan ini menambah tinggi sekitar 3-4 mm.
3. **Fiksasi Jahitan:** Lapisan-lapisan ini disatukan bukan dengan lem, tetapi dengan kawat baja tahan karat (38-40 gauge) atau benang jahit Prolene. Kendala Teknik: Ahli bedah

membutuhkan titik-titik spesifik untuk memasukkan jarum. Jika tulang rawan terlalu tebal di titik-titik ini, jarum dapat patah. Jika terlalu tipis, kawat dapat merobek ("cheese-wire effect").

## **2.3 Perencanaan Bedah Berbantuan Komputer (CASP)**

Literatur terkini membagi CASP menjadi dua kategori.:

- **Volumetric (CT/MRI):** Akurasi tinggi, biaya tinggi, radiasi tinggi. Standar di negara maju.
- **Photogrammetry (Multi-View):** Membutuhkan pengambilan lebih dari 20 foto kepala pasien untuk membuat model 3D. Akurat, tetapi sulit dilakukan pada anak berusia 6 tahun yang gelisah.
- **Single-View AI (The AMGG Approach):** Bidang yang sedang berkembang (2023-2025). Menggunakan "Estimasi Kedalaman Monokular" (seperti MiDaS atau ZoeDepth) untuk menyimpulkan bentuk 3D dari satu foto. Ini adalah kompromi optimal untuk aksesibilitas klinis di negara berkembang.

## BAB 3: METODOLOGI & DESAIN SISTEM

### 3.1 Arsitektur Sistem

Sistem AMGG beroperasi pada pipeline pemrosesan linier yang dirancang untuk lingkungan Python 3.10:

***Input (2D Photo + Reference Scale) -> Preprocessing -> AI Segmentation (META SAM + YOLOv8) -> Topographic Mapping -> Mesh Generation -> Output (STL)***

### 3.2 Development Stack & Tools

- **Core Logic:** Python 3.10.
- **Segmentation Engine:** segment-anything (Meta AI) untuk ekstraksi telinga yang kuat dan tanpa input sama sekali dari latar belakang yang kompleks (rambut, kulit, dan lain-lainnya).
- **Image Processing:** OpenCV (cv2) untuk deteksi tepi, konversi skala abu-abu, dan penghalusan kontur.
- **3D Geometry:** numpy-stl untuk mengkonversi peta intensitas piksel menjadi jaring segitiga 3D.
- **Hardware Requirements:** Laptop standar dengan GPU terpisah (NVIDIA RTX 4050 atau lebih tinggi direkomendasikan untuk inferensi SAM).

### 3.3 Persyaratan Fungsional (The "Blueprint")

#### A. Input & Calibration Module

- **FR-01 Photo Standardization:** Sistem menerima gambar beresolusi tinggi berformat .jpg atau .png.
- **FR-02 Scale Calibration (The "Ruler" Logic):**
  - *Problem:* Ukuran telinga dalam foto bisa bervariasi tergantung pada zoom kamera dan jarak kamera ke telinga pasien.
  - *Solution:* Antarmuka pengguna (UI) harus memungkinkan pengguna untuk mengklik dua titik pada penggaris yang terdapat dalam foto (misalnya, "Jarak ini adalah 10 mm").
  - *Math:*  $P_{\text{ixel\_Ratio}} = \frac{R_{\text{eal\_Distance\_mm}}}{(P_{\text{oint\_B\_px}} - P_{\text{oint\_A\_px}})}$ . Rasio ini diterapkan pada semua pembuatan 3D selanjutnya..
- **FR-03 Contralateral Mirroring:**
  - Karena 60-80% kasus adalah Mikrotia Kanan, pengguna memotret **Telinga Kiri yang Sehat**.
  - Sistem harus membalik matriks gambar secara horizontal untuk menghasilkan **Panduan Telinga Kanan**.

#### B. Segmentation & Landmark Logic

- **FR-04 Zone Differentiation:** AI tersebut harus memisahkan telinga menjadi dua zona ketinggian yang berbeda berdasarkan intensitas/kontur piksel:

- *Zone 1 (Base Plate)*: Scapha, Fossa.
- *Zone 2 (Elevated Ridges)*: Helix, Anti-Helix, Tragus.
- **FR-05 Contour Smoothing**: Masking raw pixel bergerigi. Sistem harus menerapkan operasi morfologi (Dilasi/Erosi) atau Gaussian Blurring untuk menciptakan kurva halus dan "organik" yang sesuai untuk implantasi biologis.

### C. 3D Extrusion & Biomechanical Rules

- **FR-06 Variable Thickness Extrusion**:
  - **Base Layer**: Extrude **2.0 mm** (Safety floor).
  - **Feature Layer**: Extruded **+3.0 mm** (Total 5.0 mm height).
  - *Rationale*: Ketebalannya sama dengan tulang rusuk ke-6/ke-7 (dasar) dan tulang rusuk ke-8 (heliks).
- **FR-07 Suture Windows**:
  - *Feature*: Penempatan silinder kosong secara otomatis.
  - *Dimensions*: **1.2 mm x 2.7 mm** (bentuk memanjang untuk mengakomodasi kelengkungan jarum).
  - *Placement*: Di sepanjang tonjolan Anti-Helix dengan interval 5mm.

Tabel 1. Spesifikasi hasil 3D .STL

Component	Specification	Rationale
<b>Base Thickness</b>	<b>2.0 mm</b>	Ketebalan minimum untuk mencegah perubahan bentuk selama sterilisasi.
<b>Skeleton Height</b>	<b>4.0 mm</b>	Menyediakan "dinding" fisik agar pisau bedah dapat menelusuri garisnya.
<b>Total Height</b>	<b>6.0 mm</b>	Meniru proyeksi penuh dari telinga yang direkonstruksi.
<b>Wall Width</b>	<b>~3.0 mm</b>	Wide enough to drill through without fracturing the plastic.
<b>Suture Holes</b>	<b>1.2 x 2.7 mm</b>	Dapat menampung jarum bedah standar; berbentuk lonjong untuk toleransi sudut.

## BAB 4:

### HASIL DAN RENCANA IMPLEMENTASI

#### 4.1 Hasil Prototipe

Validasi awal dilakukan menggunakan dataset yang didokumentasikan dalam `microtia_processing_summary.csv` dan notebook Python.:

- **Segmentation Accuracy:** Model META SAM & YOLOv8 berhasil mendeteksi telinga pada 100% gambar uji (5/5), termasuk 2D EAR 4.jpg.
- **Scaling Variance:** Analisis menunjukkan Area\_Percent bervariasi dari 9,05% hingga 19,00% di seluruh dataset. Variasi ini menegaskan bahwa penskalaan otomatis tanpa objek referensi tidak mungkin dilakukan. Tingkat zoom yang bervariasi dalam dataset menekankan pentingnya FR-02 (Kalibrasi Penggaris).
- **Generation Success:** Skrip tersebut berhasil menghasilkan file STL kedap air (2D EAR 4\_microtia\_guide.stl) yang dapat dibaca oleh perangkat lunak slicer standar (Cura dan slicer lainnya).

#### 4.2 Desain "Panduan Bedah"

Outputnya dirancang sebagai Template Positif:

- **Visual Guide:** Ini meniru bentuk akhir dari kerangka tulang rawan..
- **Usage:** Ahli bedah menempatkan hasil cetakan 3D yang telah disterilkan ini langsung di atas tulang rawan iga yang telah diambil. Mereka menjiplak garis luarnya dengan pena penanda steril (biru metilen) dan menggunakan "langkah-langkah" dalam model 3D untuk mengetahui di mana harus mengukir lebih dalam.
- **Material:** Dirancang untuk pencetakan menggunakan Resin Gigi Biokompatibel (dapat autoclavable) atau PLA (untuk sekali pakai, disterilkan dengan Ethylene Oxide).

#### 4.3 Metrik Validasi

Untuk beralih dari prototipe ke alat klinis, sistem akan dievaluasi pada:

##### 1. Akurasi Dimensi:

Panduan bedah cetak 3D yang dihasilkan harus menunjukkan akurasi dimensi yang tinggi sebagai kriteria kualitas yang sangat penting. Secara spesifik, panduan cetak wajib berada dalam toleransi ketat sebesar  **$\pm 0,5$  mm** dari dimensi aktual telinga sehat pasien yang berfungsi sebagai model referensi.

Pencapaian tingkat akurasi ini sangat krusial untuk memastikan bahwa panduan tersebut secara tepat mencerminkan bentuk dan ukuran yang diperlukan untuk rekonstruksi mikrotia. Deviasi yang melebihi batas toleransi ini, bahkan sedikit, dapat secara signifikan mengurangi keefektifan panduan tersebut, berpotensi menyebabkan ketidaksesuaian selama operasi.

Toleransi  **$\pm 0,5$  mm** ditetapkan berdasarkan kebutuhan presisi dalam bedah rekonstruksi telinga, di mana keselarasan struktural dengan sisi yang tidak terdampak (telinga sehat) adalah kunci untuk mencapai hasil kosmetik dan fungsional yang optimal. Hal ini

mengharuskan proses pencetakan 3D, mulai dari pemindaian citra medis, pemrosesan model komputer, hingga pencetakan fisik, untuk dikontrol dan divalidasi dengan cermat. Validasi ini biasanya melibatkan pengukuran pasca-cetak yang ekstensif dan perbandingan dengan data model digital awal.



## BAB 5:

### KESIMPULAN & REKOMENDASI

#### 5.1 Kesimpulan

Sistem *Automated Microtia Guide Generation* (AMGG) menandai sebuah terobosan fundamental dan progresif dalam praktik bedah rekonstruksi, khususnya dalam konteks sumber daya yang terbatas, seperti yang sering ditemukan di Indonesia. Inovasi ini secara spesifik dirancang untuk mengatasi tantangan mendasar yang dikenal sebagai "masalah proyeksi" dalam rekonstruksi mikrotia. Secara tradisional, perencanaan operasi untuk mikrotia sangat bergantung pada estimasi artistik dua dimensi (2D) yang inheren bersifat subjektif dan rentan terhadap variasi interpretasi.

Sistem AMGG menggantikan pendekatan konvensional yang subjektif tersebut dengan proses perencanaan tiga dimensi (3D) yang sepenuhnya objektif, didukung oleh kekuatan kecerdasan buatan (AI) dan visi komputer. Dengan memanfaatkan data pencitraan pasien, AI dapat menghasilkan panduan bedah yang presisi, memastikan bahwa kerangka telinga rekonstruksi sesuai dengan geometri dan simetri yang ideal.

Lebih lanjut, alat ini secara ketat mematuhi batasan biomekanik yang ditetapkan oleh teknik bedah terkemuka, seperti teknik Nagata, yang merupakan standar emas dalam rekonstruksi telinga. Kepatuhan ini mencakup:

1. **Ketebalan Minimal Kartilago:** Sistem memastikan bahwa yang dihasilkan mempertahankan ketebalan minimal 1.5 mm pada kerangka kartilago, parameter kritis untuk memastikan viabilitas, kekuatan, dan pencegahan resorpsi jaringan pascaoperasi.
2. **Jendela Jahitan (Suturing Windows):** AMGG secara cerdas mengintegrasikan lokasi-lokasi spesifik (jendela) yang dioptimalkan untuk penempatan jahitan, memfasilitasi fiksasi kerangka yang aman dan mengurangi risiko komplikasi bedah.

Meskipun menyajikan kemampuan komputasi canggih, AMGG dirancang untuk tetap ringan secara komputasi dan hemat biaya. Karakteristik ini menjadikannya solusi yang sangat relevan dan dapat diakses untuk sistem perawatan kesehatan yang beroperasi di bawah skema pembiayaan seperti Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS). Dengan demikian, AMGG tidak hanya meningkatkan kualitas dan objektivitas perencanaan bedah, tetapi juga mendorong pemerataan akses terhadap teknik rekonstruksi telinga yang canggih di lingkungan yang mengutamakan efisiensi biaya.

#### 5.2 Rekomendasi untuk Pekerjaan di Masa Depan

1. **Depth Estimation Upgrade:** Iterasi selanjutnya harus mengintegrasikan model Estimasi Kedalaman Monokular (misalnya, MiDaS atau ZoeDepth) untuk menghasilkan gradien ketinggian kontinu, alih-alih ekstrusi biner (2mm/5mm) yang saat ini digunakan. Hal ini akan menangkap kelengkungan smooth Concha bowl dengan lebih akurat.
2. **Mobile Application:** Mengadaptasi mesin inferensi Python ke aplikasi berbasis mobile akan memungkinkan dokter untuk mengfoto di klinik dan memprosesnya secara offline.

## Daftar Pustaka

- Nagata, S. (1993).** A new method of total reconstruction of the auricle for microtia. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 92(2), 187-201. (Seminal work on the two-stage technique).
- Lestari, A., et al. (2025).** Analytical Study of Microtia Risk Factors in Indonesia. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*. (Recent prevalence and risk factor data specific to Indonesia).
- Universitas Airlangga (2025).** Characteristics and Family History Analysis on the Presence of Other Congenital Anomalies in Patients With Microtia. *Bulletin of Stomatology and Maxillofacial Surgery*. (Key demographic data: 78% Male, 61% Right-Sided).
- Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., ... & Girshick, R. (2023).** Segment Anything. *arXiv preprint arXiv:2304.02643*. (Meta AI's foundational model used for segmentation).
- Ehret, T. (2023).** Monocular Depth Estimation: a Review of the 2022 State of the Art. *Image Processing On Line*, 13, 38-56. (Review of depth estimation techniques applicable to single-view medical imaging).
- RSCM Jakarta (2023).** *Laporan Tahunan Departemen Bedah Plastik Rekonstruksi dan Estetik*. (Data on case volume and BPJS coverage).
- Bhatia, N., & Patel, K. (2022).** Frameworks for Total Ear Reconstruction: Past, Present and Future Directions. *3D Printing in Medicine*, 4(1), 1-12. (Review of 3D printing applications in microtia).