

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tulang merupakan bentuk jaringan ikat yang menyusun sebagian besar kerangka tubuh manusia karena sifatnya yang keras, kaku, tangguh, mampu menyerap energi tinggi dan memiliki bobot yang ringan. Tulang memiliki tiga fungsi utama yaitu sebagai fungsi mekanik untuk melakukan gerakan dan sebagai tempat melekatnya otot, fungsi pelindung untuk organ vital seperti paru-paru, jantung dan sebagainya, serta fungsi metabolik yaitu sebagai tempat menyimpan cadangan kalsium dan fosfat (Moreira *et al*, 2019).

Tulang merupakan organ yang sangat dibutuhkan manusia dalam melakukan berbagai aktivitas, sehingga jika fungsi tulang mengalami gangguan akan menghambat aktivitas manusia. Fraktur tulang merupakan keadaan dimana terjadi diskontinuitas pada tulang yang ditentukan berdasarkan jenis dan luasnya, patah tulang dapat disebabkan oleh trauma total maupun sebagian. Fraktur tulang dapat diakibatkan karena kecelakaan, *osteoporosis*, kanker tulang atau kasus lain yang memberikan tekanan tinggi pada tulang, sifat fraktur tulang pada setiap jenis tulang di tubuh manusia berbeda satu sama lain (Bandyopadhyay *et al*, 2015).

Dampak dari fraktur tulang menyebabkan kerusakan neuromuskular, adanya perubahan tanda-tanda vital seperti terjadi deformitas, bengkak, nyeri dan terjadi gangguan pergerakan. Tindakan tepat yang dapat dilakukan pada fraktur tulang dengan melakukan imobilisasi pada daerah yang mengalami fraktur (Rokhana, 2019).

World Health Organization (WHO) pada tahun 2011 mencatat terjadi lebih dari 5,3 juta kecelakaan dan 1,3 juta diantaranya mengalami fraktur tulang dengan prevalensi fraktur paling besar yaitu 40% terjadi pada tulang bagian ekstremitas bawah (WHO, 2011). Di Indonesia sendiri berdasarkan hasil Riset Kesehatan Dasar oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan tahun 2018, tercatat angka

kejadian fraktur tulang sebanyak 5,5% dengan prevalensi terbesar terjadi fraktur pada bagian ekstremitas bawah sebesar 67,9% (RISKESDAS, 2019).

Alat pencitraan medis yang banyak digunakan untuk deteksi fraktur tulang yaitu X-ray, *Computed Tomography* (CT), *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), dan ultrasound. Tetapi, yang paling sering digunakan dokter adalah X-ray karena metodenya paling cepat dan mudah untuk mendeteksi fraktur tulang. Namun, alat-alat ini memiliki kekurangan karena menimbulkan dampak radiasi yang dapat membahayakan pasien, tenaga kesehatan dan juga lingkungan rumah sakit.

Penggunaan X-ray secara berkala dapat berbahaya bagi tubuh karena dapat menyebabkan kelainan *hemopoetik* (kelainan darah), seperti anemia, leukemia dan leukopenia serta juga dapat membunuh sel-sel dalam tubuh dan meningkatkan terjadinya kanker (Zhekova-Maradzhieva *et al*, 2017).

Kekurangan lainnya dari penggunaan X-ray yaitu hasil citranya tidak dapat memvisualisasi penyembuhan sampai tulang termineralisasi menjadi padat kembali, karena penggunaan X-ray berulang untuk monitoring penyembuhan dapat membahayakan kesehatan. Selain itu ukuran alat X-ray yang besar sehingga membutuhkan ruangan anti radiasi khusus menyebabkan pemeriksaan hanya dapat dilakukan di rumah sakit, dan hasil pencitraan X-ray juga harus dilakukan oleh tenaga ahli (Dell'Osa *et al*, 2019).

Electrical Impedance Tomography (EIT) merupakan teknik untuk mendapatkan rekonstruksi citra jaringan dengan cara memetakan distribusi impedansi yang berbeda pada setiap jaringan (Bronzino, 2006). Nilai impedansi jaringan didapatkan dari karakteristik jaringan biologis dalam menghambat arus bolak-balik (AC) yang diinjeksikan kedalam tubuh (Xu *et al*, 2018).

Jaringan manusia memiliki nilai konduktivitas listrik yang bervariasi yaitu 15,4 mS/cm untuk cairan serebrospinal hingga 0,06 mS/cm untuk tulang (Bronzino, 2006). Perbedaan konduktivitas tersebut ketika mendapat gangguan listrik dari luar akan memberikan respon nilai impedansi yang berbeda (Borcea, 2002). Jaringan manusia tidak hanya bersifat konduktif tetapi juga memiliki bagian yang bersifat kapasitif ketika dialiri arus listrik, oleh karena itu metode impedansi dapat

dimanfaatkan untuk *Electrical Impedance Tomography* (EIT) untuk mendapat rekonstruksi citra jaringan manusia (Bronzino, 2006).

Prinsip dasar *Electrical Impedance Tomography* (EIT) dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi ketidaknormalan jaringan berdasarkan perbedaan nilai impedansi jaringan normal dengan jaringan abnormal. *Electrical Impedance Tomography* (EIT) menilai karakteristik internal tubuh manusia dengan cara menginjeksikan arus listrik dalam jumlah kecil melalui elektroda berpasangan yang dipasang mengelilingi permukaan objek (Bronzino, 2006). Sebagai contoh adalah pengukuran impedansi pada tulang untuk mendeteksi adanya fraktur. Tulang terbagi dalam dua komponen, yaitu tulang kortikal yang berbentuk padat, kuat dan mengelilingi ruang sumsum dan tulang trabekular yang tersusun dari jaringan seperti sarang lebah. Komponen seluler tulang terdiri dari osteogenik, osteoblast, osteoklas, osteosit dan elemen *hemapoietic* dari sumsum tulang (Dempster, 2017). Jaringan tulang memiliki variasi bioelektrik yang besar karena keragaman morfologinya. Pada keadaan fraktur, jaringan proksimal tulang mengalami peningkatan aliran darah dengan edema lokal karena reaksi inflamasi dan proses penyembuhan tulang itu sendiri. Semua kejadian tersebut mengidentifikasi adanya difusi material dengan hambatan listrik rendah pada bagian yang mengalami fraktur (Dell'Osa *et al*, 2019).

Hasil dari pengukuran *Electrical Impedance Tomography* (EIT) berupa tegangan, kemudian dengan algoritma rekonstruksi tegangan tersebut ditransformasikan menjadi gambar tomografi (Khan dan Ling, 2019).

Electrical Impedance Tomography (EIT) sebagai metode pencitraan telah banyak digunakan dalam bidang medis seperti pada thorax untuk deteksi fungsi paru-paru, kelainan pada sistem pernapasan, kemudian deteksi kanker payudara, dan deteksi fungsi jantung dan saraf otak (Sapuan *et al*, 2020). Kelebihan penggunaan *Electrical Impedance Tomography* (EIT) yaitu bentuk perangkatnya sederhana sehingga mudah dibawa kemana-mana dan mudah diimplementasikan, metode pengukurannya secara non-invasive sehingga pasien menjadi lebih nyaman untuk diperiksa serta minim resiko bahaya. Selain itu kelebihan *Electrical Impedance Tomography* (EIT) lainnya yaitu menggunakan arus listrik lemah dalam

orde miliamper ketika melakukan pengukuran sehingga tidak menimbulkan radiasi pada tubuh. *Electrical Impedance Tomography* (EIT) tidak menyebabkan ancaman yang teridentifikasi dibandingkan dengan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), *Computed Tomography* (CT), dan X-ray (Khan dan Ling, 2019).

Penelitian sebelumnya terkait *Electrical Impedance Tomography* (EIT) dilakukan oleh Xu *et al.* (2018) dengan membangun sistem berbasis Red Pitaya dengan biaya yang murah. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan 8 elektroda kemudian alat diuji cobakan pada telur dalam waktu pemanasan yang berbeda-beda. Hasil yang diperoleh yaitu Red Pitaya dapat dimanfaatkan sepenuhnya untuk kontrol perangkat keras yang dapat diprogram, membangkitkan sinyal serta mampu melakukan akuisisi sehingga dapat mengimplementasikan sebagian besar dari fungsi EIT. Berdasarkan uji yang dilakukan diperoleh nilai impedansi output ketika nilai VCCS 100 KHz sebesar $726\text{ K}\Omega$, yang berarti memenuhi persyaratan EIT untuk impedansi keluaran dari sumber arus. Sistem EIT yang dikembangkan dapat menggambarkan perubahan konduktivitas selama pemanasan telur. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem EIT yang dikembangkan dengan berbasis Red Pitaya dapat digunakan untuk mengukur jaringan biologis dengan akurasi yang tinggi dan biaya rendah. Selain itu juga penelitian selanjutnya dilakukan oleh Schluchter (2020) yang membuat *Electrical Impedance Tomography* (EIT) menggunakan Red Pitaya dengan 16 elektroda. Alat diujikan pada 3D printing serta proses rekonstruksi menggunakan EIDORS. Hasil yang diperoleh Red Pitaya dapat digunakan untuk membangun sistem dan dapat mendeteksi benda-benda yang diuji. Kemudian penelitian serupa juga dilakukan oleh Azma, M. A. (2021) dengan menggunakan Red Pitaya dalam membangun *Electrical Impedance Tomography* (EIT) untuk mendeteksi kanker payudara. Kemudian alat diuji cobakan pada bahan wortel, timun dan kentang untuk merepresentasikan anomali kanker. Hasil yang didapatkan *Electrical Impedance Tomography* (EIT) yang dibangun dapat mengkarakterisasi bahan-bahan yang digunakan.

Berdasarkan masalah yang telah dipaparkan dan berdasarkan pada penelitian sebelumnya, peneliti akan merancang alat *Electrical Impedance Tomography* (EIT) menggunakan modul Red Pitaya dengan pengembangan yang dilakukan yaitu

menyatukan semua rangkaian kedalam satu PCB serta alat akan diuji cobakan untuk mendeteksi fraktur pada objek 3D printing tulang untuk mewakili tulang. Modul Red Pitaya digunakan sebagai pengendali rangkaian elektronik pada sistem *Electrical Impedance Tomography* (EIT), dilengkapi *function generator* sebagai pembangkit tegangan AC, memiliki 16 pin input/output sehingga dengan menggunakan Red Pitaya akan memenuhi sebagian besar dari fungsi *Electrical Impedance Tomography* (EIT). Selain itu pada modul Red Pitaya sudah dilengkapi konverter ADC dan DAC serta filter sehingga tidak membutuhkan komponen tambahan untuk mengubah sinyal analog menjadi digital. Kelebihan lain dari penggunaan modul Red Pitaya memiliki kapasitas penyimpanan data yang cukup besar serta sudah terbukti pada penelitian sebelumnya dapat digunakan sepenuhnya untuk membangun sistem *Electrical Impedance Tomography* (EIT).

Pada *Electrical Impedance Tomography* (EIT) dengan modul Red Pitaya diprogram sepenuhnya dengan menggunakan *software* MATLAB yang ada di PC. Metode pencuplikan data oleh elektroda menggunakan metode *neighboring* dengan 16 elektroda. Metode ini bekerja dengan menginjeksikan arus pada elektroda E-1 kemudian elektroda E-2 akan bertindak sebagai ground, kemudian pada saat yang sama nilai tegangan antara dua elektroda yang berdekatan yaitu elektroda E-3 dengan E-4, elektroda E-4 dengan E-5, elektroda E-5 dengan E-6 hingga elektroda E-2 dengan E-3 akan diukur. Selanjutnya arus akan diinjeksikan pada elektroda E-2 dan elektroda E-3 akan bertindak sebagai ground pada saat yang sama pula akan diukur tegangan antara dua elektroda yang berdekatan. Proses ini diulang sehingga semua elektroda yang berdekatan menjadi elektroda penginjeksi arus.

Pengujian alat akan dilakukan pada *phantom* tabung akrilik serta objek yang terbuat dari 3D printing bahan PLA (*PolyLactic Acid*) sebagai pengganti tulang. Penggunaan objek 3D printing tulang bertujuan untuk meminimalisir adanya kesalahan hasil pengukuran serta meminimalkan kerancuan data karena jika menggunakan tulang manusia atau tulang hewan langsung sulit menemukan 2 tulang dengan kandungan yang sama dan bentuk yang sama. Sehingga dikhawatirkan jika terdapat perbedaan hasil pengambilan data sulit untuk dideteksi apakah perbedaan tersebut diakibatkan kandungan berbeda pada bahan ataukah

perbedaan tersebut disebabkan oleh alat yang digunakan tidak berfungsi dengan baik. Sehingga untuk meminimalisir hal tersebut digunakan objek 3D printing tulang yang sudah jelas memiliki kandungan sama dan bentuk sama. *Phantom* dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *phantom* hanya diisi air, *phantom* diisi air dan objek 3D printing tulang normal dan *phantom* diisi air dan objek 3D printing tulang fraktur. *Software* rekonstruksi yang digunakan adalah EIDORS yang merupakan toolbox dari MATLAB dan dikhususkan untuk rekonstruksi citra dari hasil pengukuran impedansi.

Untuk mengetahui ketepatan hasil rekonstruksi citra akan dilakukan validasi dengan melakukan pengamatan secara langsung antara letak objek pada *phantom* terhadap hasil rekonstruksi. Perbandingan peletakan objek dengan hasil rekonstruksi dapat dilihat pada elektroda keberapa terdapat perbedaan warna dan apakah objek diletakkan pada elektroda yang terjadi perbedaan warna. Selain itu untuk mengetahui kestabilan alat dilakukan repitasi pengambilan data sebanyak tiga kali untuk masing-masing jenis variasi *phantom*. Kemudian akan dibandingkan hasil rekonstruksi citra pada frekuensi 10 kHz dengan frekuensi 30 kHz untuk mendapat citra terbaik dalam mengidentifikasi perbedaan 3D printing tulang normal dan fraktur.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sistem kerja dari *Electrical Impedance Tomography* (EIT) untuk mendeteksi fraktur tulang dengan modul Red Pitaya?
2. Bagaimana hasil rekonstruksi citra dari fraktur tulang dengan menggunakan *Electrical Impedance Tomography* (EIT) dengan modul Red Pitaya?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Merancang alat *Electrical Impedance Tomography* (EIT) dengan modul Red Pitaya

2. Objek pengukuran untuk mengambil data menggunakan *phantom* tabung akrilik dengan objek 3D printing tulang bahan *PolyLactic Acid* (PLA) sebagai pengganti tulang manusia
3. Rekonstruksi citra fraktur tulang hasil *Electrical Impedance Tomography* (EIT) berbentuk 2 Dimensi dengan resolusi citra lebih rendah dari *Computed Tomography*
4. Rekonstruksi citra menggunakan *software* yang sudah tersedia yaitu EIDORS
5. Penggunaan frekuensi 10 kHz dan 30 kHz dilakukan untuk mengetahui hasil pencitraan terbaik dalam membedakan 3D printing tulang normal dengan fraktur
6. Hasil rekonstruksi citra *Electrical Impedance Tomography* (EIT) yang dirancang dapat mendeteksi adanya fraktur tulang dengan melihat adanya perbedaan warna.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Membangun *Electrical Impedance Tomography* (EIT) untuk mendeteksi fraktur tulang dengan modul Red Pitaya
2. Mendapatkan rekonstruksi citra yang baik untuk mendeteksi fraktur tulang berbasis *Electrical Impedance Tomography* (EIT).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alat alternatif dalam membantu tenaga kesehatan dalam mendiagnosa fraktur tulang dengan cara yang lebih sederhana, non-invasif, murah serta meminimalkan bahaya akibat radiasi.