

BAB 1

ANALISIS KEBUTUHAN

1.1 Masalah

EMG (*Electromyography*) merupakan metode perekaman sinyal yang dihasilkan oleh otot-otot tubuh manusia dengan menggunakan alat perekam. Alat perekam tersebut biasa disebut dengan *electromyograph* sedangkan untuk hasil perekaman dari alat tersebut adalah *electromyogram*. Sinyal yang terekam pada EMG dapat dimanfaatkan untuk berbagai jenis keperluan, misalnya digunakan untuk mendiagnosis penyakit atau gangguan yang berhubungan saraf dan otot, ataupun aplikasi dalam bidang olahraga [1].

Sinyal listrik atau sinyal biopotensial yang terekam dari alat *electromyograph* berasal dari aktivitas listrik yang ditimbulkan oleh sel-sel saraf pada saat otot yang sedang berkontraksi maupun berelaksasi. Sinyal biopotensial tersebut berasal dari adanya sinyal fisiologis yang berkumpul dan dibawa oleh sel-sel saraf motorik menuju serat-serat otot. Sel-sel saraf motorik pada tubuh berfungsi untuk mengantarkan rangsangan berupa lonjakan listrik (impuls) dari sumsum tulang belakang sampai pada bagian neuron yang berhubungan langsung dengan sarafotot.

Pada alat *electromyograph* terdiri dari bagian elektroda, sensor, alat perekam (*encoder*), serta perangkat lunak (komputer). Pada perangkat elektroda, akan diletakkan pada permukaan kulit yang akan diukur sinyal biopotensial pada ototnya. Pada elektroda EMG yang beredar dipasaran, terdapat dua jenis elektroda, yakni elektroda kering dan elektroda basah. Penggunaan elektroda kering pada EMG masih bersifat kaku dan yang paling utama adalah belum bisa menyesuaikan bentuk tubuh dengan maksimal. Sedangkan penggunaan elektroda basah yang menggunakan gel elektrolit dapat menimbulkan alergi pada kulit manusia. Gel elektrolit pada surface EMG juga dapat menyebabkan kesulitan dalam menjaga stabilitas pemasangan saat dilakukan pengukuran

1.1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam proses kerja otot, akan berlangsung tiga tahapan, yaitu tahap permulaan kontraksi, tahap kontraksi, dan tahap relaksasi. Pada tahap permulaan kontraksi, akan menghasilkan listrik yang berupa tegangan aksi yang berjalan dari sel saraf (neuron) yang kemudian sampai di sinapsis (penghubung antar neuron) dan menghasilkan *neurotransmitter* berupa *acetylcholin* (*Ach*). *Ach* lalu berjalan dari sinapsis ke sel otot dan mengakibatkan ion Natrium (Na^+) masuk menuju ke dalam

sel otot. Jumlah ion yang meningkat ini akan menghasilkan tegangan listrik yang menjalar pada sepanjang serabut otot. Akibat dari peningkatan tegangan listrik ini akan menyebabkan pelepasan ion Kalsium (Ca^{2+}) sehingga dapat memicu terjadi adanya kontraksi. Pada tahap terjadinya kontraksi, terdapat protein pengatur yang disebut *troponin* dan *tropomyosin*. Saat tahap kontraksi, *troponin* akan mengikat ion Ca^{2+} , sehingga mengakibatkan berubahnya ikatan *troponin-tropomyosin*. Berubahnya ikatan tersebut mengakibatkan terbukanya sisi aktif filamen tipis (*actin*). Kemudian, ujung filamen tebal (*myosin*) dari serat otot berinteraksi dengan filamen tipis (*actin*) yang saling tarik menarik. Interaksi antar filament tersebut yang menyebabkan otot saling berkontraksi (memendek). Setelah melakukan kontraksi, tentunya otot akan melakukan relaksasi. Pada tahap relaksasi, kadar ion Ca^{2+} akan berkurang dan secara perlahan akan lepas dari *troponin*. Kemudian, sisi aktif filamen tipis dari serat otot yang tadinya terbuka akan kembali tertutup oleh *tropomyosin* yang selanjutnya otot akan kembali seperti semula, atau yang biasa disebut dengan relaksasi. Dari semua aktivitas otot tersebut, dapat dilakukan sebuah perekaman yang menghasilkan sinyal dalam bentuk sinyal biopotensial melalui EMG (*Electromyography*) [1].

Sinyal EMG merupakan sinyal yang diperoleh dari aktivitas arus listrik yang dihasilkan oleh otot saat berkontraksi ataupun berelaksasi yang didapatkan dengan cara menempelkan elektroda pada kulit di atas otot yang diinginkan. Listrik yang berasal dari sel-sel saraf (*neuron*) akan berjalan menuju otot yang berkontraksi atau berelaksasi tersebut. Kontraksi sendiri merupakan keadaan di mana otot sedang dalam keadaan bekerja (memendek), sedangkan relaksasi merupakan keadaan di mana otot dalam keadaan beristirahat (memanjang).

Pada pengukuran sinyal biopotensial dari perangkat EMG menggunakan elektroda yang beredar di pasaran, menggunakan elektroda jenis kering dan basah. Menurut Saude dan Morshed, penggunaan elektroda kering memiliki kekurangan untuk menghasilkan sinyal *noisy* yang tinggi pada proses pengukurannya [2]. Sedangkan, pada elektroda basah diperlukan gel elektrolit untuk mengukur sinyal biopotensial. Gel elektrolit yang ditambahkan ke permukaan kulit tersebut dapat menyebabkan beberapa gangguan kulit, seperti iritasi, peradangan, dan alergi. Elektroda yang digunakan pada alat EMG saat ini adalah berbahan logam Ag/AgCl konduktif yang bersifat keras dan padat sehingga menimbulkan ketidaknyamanan pada pengguna (pasien). Selain itu, elektroda jenis ini menyebabkan kualitas kontak yang kurang baik antara permukaan kulit dengan elektroda [3].

Pengembangan elektroda dalam perangkat EMG perlu diperlukan untuk meningkatkan

kualitas hasil pengukuran dan meningkatkan kenyamanan bagi pengguna dalam proses penggunaannya. Pengembangan yang ingin dicetuskan adalah membuat elektroda fleksibel untuk pengukuran sinyal biopotensial pada perangkat EMG sebagai pengganti elektrodakomersial yang biasa digunakan dengan bahan Ag/AgCl. Pengembangan ini diperlukan karena pada pengambilan data sinyal biopotensial, elektroda fleksibel dapat mengikuti kontur tubuh sehingga kontak elektroda akan lebih baik dan dapat memperbaiki hasil *Signal to Noise Ratio* (SNR) dengan meningkatkan perpindahan ion dari permukaan kulit ke elektroda. Selain itu, elektroda fleksibel akan lebih nyaman digunakan dalam jangka waktu yang lebih panjang.

Pemilihan nanofiller yang tepat dan kekompatibilitasnya dengan polimer merupakan salah satu parameter dasar untuk meningkatkan sifat nanokomposit. Berbagai jenis struktur nano, seperti *metal oxide*, *carbon nanotube*, dan silikat berlapis cocok untuk pembuatan nanokomposit [4]. *Metal oxide* termasuk dalam kategori nanopartikel semikonduktor, salah satunya ZnO [5]. ZnO merupakan bahan semikonduktor yang berguna dengan berbagai aplikasi, seperti dalam pigmen, pengisi aditif, antimikroba dan antijamur polimer, *sunscreen*, dan salep medis. Memiliki sifat biokompabilitas dan biodegradabilitas yang baik, ZnO adalah semikonduktor II-VI dengan *direct bandwidth* 3,37 V membuat emisi kuat bahkan padasuhu ruang.

Polimer sintetik adalah matriks dasar terbaik untuk persiapan dan desain komposit dari dua kategori alami dan sintetik. PVA (CH₂CH(OH)) sebagai polimer semi-kristal, tidak beracun, larut dalam air, *biodegradable* dan biokompatibel dikonversi dari polivinil asetat. Sebagai pemindah udara dan air yang sangat baik, polimer berbiaya rendah ini akan menjadi pilihan yang layak untuk produksi beragam komposit. Karena karakteristik tersebut, PVA, sebagai *striking modifier* untuk nanopartikel ZnO dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industry, komersial, makanan, dan medis. Perkembangan ikatan hydrogen antarmolekul antaragugus O-H PVA dan permukaan ZnO menghasilkan kinerja dan struktur *bachbone* komposit ZnO/PVA yang efektif. Pendekatan ZnO/PVA yang penting berasal dari sifat strukturalnya, dimana konfigurasi structural khas ZnO dengan polimer PVA memberikan kinerja yang optimal. Peningkatan karakteristik dikaitkan dengan interaksi senyawa *interface*. Hal ini membuat ZnO/PVA memiliki sifat mekanik, elektrik, dan termal yang sesuai dibandingkan nanokomposit lainnya.

Investigasi perbandingan antara tiga komposit ZnO/PVA, ZnO/PVP dan ZnO/PGA menunjukkan bahwa PVA memiliki kinerja terbaik dalam dispersi dan aktivitas antibakteri [6]. Hal ini diharapkan dapat meminimalisir terjadinya iritasi pada kulit dalam pengukuran jangkapanjang.

Dengan mempertimbangkan efek samping penggunaan elektroda EMG yang berbentuk gel dalam pengukuran jangka panjang, maka bentuk elektroda fleksibel yang akan dikembangkan adalah *thin film*. Elektroda film tipis yang terdiri dari lapisan bahan aktif dengan ketebalan mulai dari nanometer hingga mikrometer telah banyak dieksplorasi di bidang superkapasitor (SC), khususnya *thin film SC*, *flexible* atau *stretchable SC*, dan mikrosuperkapasitor. Konfigurasi uniknya dengan ketebalan tipis dan seragam tidak hanya dapat menjamin respon elektrokimia yang cepat selama pengisian dan pengosongan, tetapi memungkinkan elektroda *thin film* digunakan dalam perangkat *portable* atau *relative* [7]. *Thin film*, karena keserbagunaannya telah diaplikasikan di sejumlah sektor mulai dari lapisan sederhana untuk perlindungan keausan dan korosi, hingga aplikasi yang lebih canggih, seperti pelapis antireflektif, mikroelektronika, fotovoltaiik, dan lainnya [8]. *Thin film* juga memiliki fitur dan kelebihan, seperti stabilitas suhu, presisi tinggi, stabilitas jangka panjang, *minimal defect* yang menyebabkan *low noise*, dan sebagainya [9]. Berdasarkan spesifikasi tersebut, maka akan dikembangkan elektroda fleksibel berupa *thin film* dengan bahan nanokomposit ZnO/PVA.

1.1.2 Informasi Pendukung

Menurut dr. Ghifara Huda, komplikasi pada pengukuran EMG (*Electromyography*), menimbulkan terjadinya trauma pada otot yang mengakibatkan rasa nyeri pada pengguna (pasien). Komplikasi yang terjadi, biasanya merupakan akibat dari EMG yang bersifat invasif dan EMG yang bersifat noninvasif [10].

EMG invasif dapat berupa *needle EMG* (Nemg) sedangkan EMG yang non invasif atau *surface EMG* (Semg) relatif aman. Sebuah laporan medis oleh Erden Erol Unluer, *et al.* Pada tahun 2013, dilaporkan telah terjadi komplikasi serius *pneumothorax* pada perempuan usia sembilan belas tahun dengan keluhan *diaphoresis* dan *dyspnea* setelah dilakukan pemeriksaan EMG bilateral dengan elektroda *needle* dengan ukuran 38x0.45 mm [10]. Walaupun *surface EMG* relatif aman, berdasarkan jurnal review, Hao Wu, *et al.* (2020) pada gel elektrolit yang digunakan dalam elektroda Ag/AgCl dapat menyebabkan iritasi kulit selama pengukuran jangka panjang. Juga dijelaskan kekakuan elektroda Ag/AgCl tidak memungkinkan mendapatkan sinyal berkualitas tinggi selama adanya pergerakan karena hilangnya kontak dengan kulit [11].

Pada jurnal yang membahas tentang *on skin electrode*, dijelaskan bahwa logam memiliki nilai konduktivitas dan sifat mekanik yang bisa digolongkan masuk ke dalam kategori unggul, sehingga logam banyak digunakan sebagai bahan utama elektroda. Elektroda yang berbahan logam

tersebut dapat diproduksi melalui teknologi mikro/nanofabrikasi yang canggih. Namun, logam komersial yang beredar memiliki nilai *modulus young* atau tingkat fleksibilitas dan regangan yang rendah. Untuk meningkatkan nilai fleksibilitas dan daya regangannya, maka akan dibuat logam dengan bentuk *thin film* [11].

Oleh karena itu, untuk mengatasi persoalan elektroda Ag/AgCl pada kulit, bersumber pada jurnal material, Marco S. Rodrigues, *et al.* (2020) telah melakukan percobaan dengan membuat elektroda fleksibel kering berbentuk *thin film* berbasis titanium dan *thermoplastic polyurethane* (TPU) substrat sebagai alternatif pengganti elektroda Ag/AgCl. Didapatkan bahwa pemrosesan sinyal elektroda kering tersebut berhasil apabila disandingkan dengan elektroda Ag/AgCl [12].

1.1.3 Analisis Umum

Prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA untuk aplikasi EMG ini dikembangkan dengan mempertimbangkan beberapa aspek sebagai berikut.

1.1.3.1 Aspek Pengguna (User)

Prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA ini dibentuk agar dapat mengikuti bentuk permukaan tubuh sehingga bisa mendapatkan sinyal biopotensial walaupun adanya pergerakan serta elektroda fleksibel yang berupa *thin film* ini tidak membutuhkan gel elektrolit sebagai media perantara dengan kulit yang akibatnya tidak akan menyebabkan iritasi kulit selama pengukuran jangka panjang. Hal tersebut guna mempertimbangkan kenyamanan pengguna selama pengukuran.

1.1.3.2 Aspek Manufakturbilitas

Prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA ini dibentuk agar mampu mendapatkan sinyal biopotensial dan nyaman dikenakan pengguna. Hal tersebut dapat ditinjau berdasarkan material elektroda yang memiliki bentuk nanokomposit. Nanokomposit memiliki keunggulan dibandingkan material komposit konvensional, makro maupun mikro. *Polyvinyl Alcohol* (PVA) mampu memberikan karakteristik mekanik, elektrik, dan optik suatu bahan. Selain itu, digunakan material tambahan dalam prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA untuk aplikasi EMG ini dengan tujuan dapat meningkatkan nilai konduktivitas dan juga membuat elektroda menjadi lebih fleksibel dan elastis.

1.1.3.3 Aspek Keberlanjutan (Sustainability)

Ditinjau dari keberlanjutan masalah yang diangkat, dibutuhkan penanganan terkait elektroda fleksibel sebagai salah satu tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs) pada tujuan

ke-3, yaitu *Good Health Well Being*. Dengan adanya elektroda fleksibel dapat meningkatkan tingkat konduktivitas serta kenyamanan pada saat penggunaan. Karena penggunaan elektroda kering tidak mampu mengikuti kontur tubuh yang berbeda-beda. Otot merupakan jaringan yang sangat penting dalam tubuh yang mampu menggerakkan bagian-bagian tubuh. Pengecekan sinyal otot menggunakan *Electromyography* (EMG) dilakukan untuk mengetahui keadaan pada otot ketika terdapat masalah yang terjadi. Hingga saat ini elektroda yang digunakan untuk membaca sinyal otot masih memiliki beberapa kelemahan. Untuk elektroda kering tingkat *noise* yang tinggi dan elektroda basah menyebabkan beberapa gangguan pada kulit, seperti iritasi, peradangan, dan alergi. Selanjutnya dengan adanya elektroda fleksibel dapat membantu dalam pembacaan sinyal serta dapat mengikuti kontur tubuh yang berbeda-beda dan dapat memberikan kenyamanan dalam penggunaan.

1.1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Dalam pengembangan elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA terdapat kebutuhan-kebutuhan yang harus dipenuhi, diantaranya adalah

1. Membuat prototipe elektroda fleksibel yang dapat mengukur sinyal biopotensial yang relatif kecil.
2. Membuat prototipe elektroda fleksibel yang dapat digunakan pada bagian tubuh mana saja serta memberikan kenyamanan bagi pengguna.

1.1.5 Tujuan

Berdasarkan kebutuhan yang harus dipenuhi, maka dirumuskan tujuan sebagai berikut

1. Membuat prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA.
2. Membuat prototipe elektroda yang memiliki kemampuan mengukur sinyal biopotensial yang relatif kecil.

1.2 Solusi Sistem yang Diusulkan

Berdasarkan masalah dan tujuan yang telah dipaparkan, maka dapat solusi sistem dari masalah tersebut. Berikut adalah karakteristik dan skenario produk dari solusi sistem yang diusulkan.

1.2.1 Karakteristik Produk

1.2.1.1 Prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA tanpa *doping* material

Pada prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA tanpa *doping* material diharapkan memiliki kemampuan mengukur sinyal biopotensial yang relatif kecil dan nilai SNR

yang tinggi. Dalam hal ini, *stakeholder* yang terlibat dalam pengujian penggunaan produk masih dalam ruang lingkup mahasiswa dan laboratorium, pada pengujian elektroda fleksibel yang telah dipasang pada alat EMG masih dilakukan kepada anggota kelompok atau orang dengan keadaan yang sehat karena dikhawatirkan akan mengganggu pasien dengan keadaan darurat jika dilakukan pada laboratorium berskala rumah sakit.

1.2.1.2 *Prototype* elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA dengan *doping* material

Pada prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA dengan *doping* material diharapkan memiliki kemampuan mengukur sinyal biopotensial yang relatif kecil dan nilai SNR yang tinggi. Penggunaan *doping* material dapat meningkatkan nilai konduktivitas dan juga membuat elektroda menjadi lebih fleksibel dan elastis. Dengan penambahan *doping* material pada prototipe elektroda fleksibel, membuat kinerja prototipe elektroda menjadi lebih baik dan optimal daripada prototipe elektroda berbasis nanokomposit ZnO/PVA tanpa *doping* material, karena hanya menggunakan kekuatan dari material nano ZnO sebagai komponen konduktifnya tanpa memperhatikan aspek keelastisannya. Dalam hal ini, *stakeholder* yang terlibat dalam pengujian penggunaan produk masih dalam ruang lingkup mahasiswa dan laboratorium, pada pengujian elektroda fleksibel yang telah dipasang pada alat EMG masih dilakukan kepada anggota kelompok atau orang dengan keadaan yang sehat, karena ditakutkan akan mengganggu pasien dengan keadaan darurat jika dilakukan pada laboratorium berskala rumah sakit.

1.2.2 Skenario Penggunaan

1.2.2.1 *Prototype* elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA tanpa *doping* material

Cara penggunaan prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA tanpa *doping* material, digunakan hasil dari metode *casting* nanokomposit ZnO/PVA yang berupa thin film akan dilakukan di laboratorium Material. Hasil dari sintesis tersebut kemudian dikarakterisasi berdasarkan nilai konduktivitasnya, nilai SNR, dan uji tarik atau *modulus young* yang dilakukan di laboratorium PPNN. Setelah karakterisasi dilakukan, maka akan dilakukan penggantian komponen elektroda komersial dengan prototipe elektroda fleksibel yang kemudian ditempelkan langsung pada pin elektroda. Selanjutnya, dilakukan pengukuran pada alat EMG dengan menggunakan semua komponen prototipe elektroda fleksibel guna mengetahui bagaimana sinyal biopotensial yang dihasilkan.

1.2.2.2 *Prototype* elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA dengan *doping*

material

Cara penggunaan prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA dengan *doping* material, *thin film* akan ditambahkan *doping graphene* yang dapat meningkatkan sifat konduktif elektroda fleksibel. Hasil dari penambahan *doping* tersebut kemudian dikarakterisasi berdasarkan nilai konduktivitasnya, nilai SNR, dan uji tarik atau *modulus young* yang dilakukan di laboratorium PPNN. Setelah karakterisasi dilakukan, maka akan dilakukan penggantian komponen elektroda komersial dengan prototipe elektroda fleksibel yang kemudian ditempelkan langsung pada pin elektroda. Selanjutnya, dilakukan pengukuran pada alat EMG dengan menggunakan semua komponen prototipe elektroda fleksibel guna mengetahui bagaimana sinyal biopotensial yang dihasilkan. Penambahan *doping* akan ditinjau apakah dapat memenuhi dan menjadikan prototipe elektroda menjadi elektroda fleksibel yang sempurna.

1.3 Kesimpulan dan Ringkasan

Pengerjaan Capstone Design dengan judul “*Prototype* Elektroda Fleksibel Berbasis Nanokomposit ZnO/PVA untuk Aplikasi EMG” dibuat dengan tujuan mengubah elektroda komersial pada alat EMG (*electromyography*) dengan elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA. Hal ini dicetuskan karena masih terdapat banyak kekurangan pada elektroda komersial berbahan Ag/AgCl, di mana elektrodanya masih bersifat kaku dan menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna serta belum cukup mumpuni jika digunakan dalam jangka waktu yang panjang. Dengan membuat prototipe elektroda fleksibel, kekurangan tersebut dapat diatasi karena prototipe yang dibuat akan memiliki nilai konduktivitas dan sifat elastis yang lebih tinggi dari elektroda komersial berbahan Ag/AgCl.

Penggunaan material nanokomposit ZnO/PVA dilakukan dengan metode casting yang akan menghasilkan *thin film* dibuat dengan doping dan tanpa doping material. Doping material dilakukan dengan cara menambahkan doping *graphene* yang dapat meningkatkan konduktivitas elektroda fleksibel. Hasil tersebut kemudian dikarakterisasi berdasarkan nilai konduktivitasnya, uji tarik atau *modulus young*, dan nilai SNR.