

Variasi Volume Tuang Prototipe Elektroda Fleksibel Berbasis Nanokomposit ZnO/Pva Untuk Aplikasi Emg

1st Diki Ribut Wahyudi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

dikiributw@student.telkomuniversity.ac.id

c.id

2nd Abrar Ismardi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

abranselah@telkomuniversity.ac.id

3rd Damar Rastrri Adhika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung
Bandung, Indonesia

damarrastrri@gmail.com

Abstrak — Penggunaan elektroda sangat penting dalam hal medis, salah satunya dalam bidang pengawasan Kesehatan seperti EMG. Dimana EMG (Electromyography) merupakan metode perekaman sinyal yang dihasilkan oleh otot-otot tubuh manusia dengan menggunakan alat perekam. Elektroda koversial untuk pengaplikasian EMG masih memiliki keterbatasan dalam pembacaan sinyal otot. Elektroda fleksibel merupakan studi yang diangkat untuk mengembangkan elektroda. Prototipe elektroda fleksibel berbasis nanokomposit ZnO/PVA dengan doping graphene untuk pengaplikasian EMG. Proses pembuatan elektroda fleksibel telah ditetapkan dengan penambahan 5% graphene dengan empat variasi volume tuang. Untuk volume tuang yang dilakukan adalah 10; 6.7; 5; dan 4 ml dengan masing-masing ketebalan rata-rata adalah 0.186; 0.163; 0.086; dan 0.071 mm. Pengujian dilakukan untuk melihat karakteristik dari sifat listrik dan mekanik, serta nilai SNR dan uji impedansi yang dilakukan. Dengan variasi volume tuang dapat mengurangi nilai hambatan dan rongga yang tidak diinginkan, sehingga dapat meningkatkan akurasi sinyal EMG yang dihasilkan.

Kata kunci— EMG, Elektroda Fleksibel, ZnO/PVA, Volume Tuang

I. PENDAHULUAN

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 (Ca²⁺) sehingga dapat memicu terjadi adanya kontraksi.

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 noise yang tinggi pada proses pengukurannya [1]. Sedangkan, pada elektroda basah diperlukan gel elektrolit untuk mengukur sinyal biopotensial. Gel elektrolit yang ditambahkan ke permukaan kulit ter sebut 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 [2].

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 [3]. Metal oxide termasuk dalam kategori nanopartikel semikonduktor, salah satunya ZnO [4]. 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.

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 [5].

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, fotovoltai, dan lainnya [6]. Thin film juga memiliki fitur dan kelebihan, seperti stabilitas suhu, presisi tinggi, stabilitas jangka panjang, minimal defect yang menyebabkan low noise, dan sebagainya [7]. Berdasarkan spesifikasi tersebut, maka akan dikembangkan elektroda fleksibel berupa thin film dengan bahan nanokomposit ZnO/PVA.

II. KAJIAN TEORI

A. EMG (Elektromyography)

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 [8]. 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.

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 saraf otot.

B. ZnO (Zinc Oxide)

ZnO merupakan bahan semikonduktor yang berguna dengan berbagai aplikasi, seperti dalam pigmen, pengisi aditif, antimikroba dan antijamur polimer, sunscreen, dan salep medis. Memiliki sifat biokompatibilitas dan biodegradabilitas yang baik, ZnO adalah semikonduktor II-VI dengan direct bandwidth 3,37 eV membuat emisi kuat bahkan pada suhu ruang.

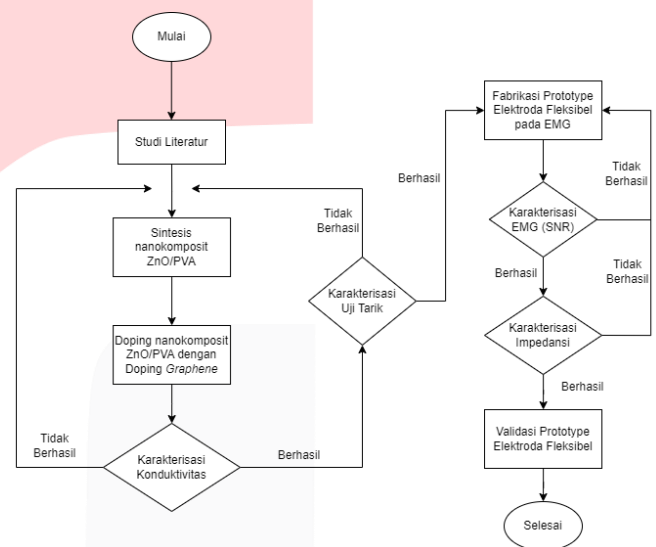
C. PVA (Polyvinyl Alcohol)

Polimer sintetik adalah matriks dasar terbaik untuk persiapan dan desain komposit dari dua kategori alami dan sintetik. PVA ($\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})$) 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 antara gugus O-H PVA dan permukaan ZnO

menghasilkan kinerja dan struktur backbone komposit ZnO/PVA yang efektif.

Pendekatan ZnO/PVA yang penting berasal dari sifat strukturalnya, di mana 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 jangka panjang.

III. METODE

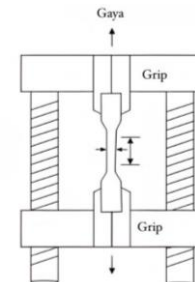


GAMBAR 1
Rancangan Pengerjaan

A. Pengujian Elastisitas

Dalam pengujian ini, sampel yang telah dikerjakan akan diuji dengan menempatkan elektroda di antara dua perlengkapan "grips" yang menjepit elektroda. Lalu elektroda fleksibel diberi gaya pada salah satu ujungnya, sedangkan ujung lainnya dalam kondisi tetap.

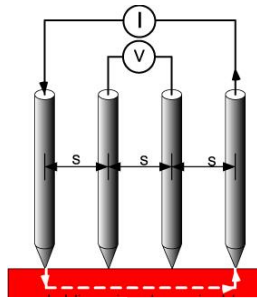
Metode uji tarik (tensile strength) ini dilakukan untuk mencari nilai modulus young. Metode ini dilakukan untuk mengekspresikan kekakuan film. Semakin besar nilainya semakin kaku film tersebut. Nilai ini diperoleh dari elastisitas maksimum sesaat sebelum film mengalami deformasi plastis pada uji tarik. Satuan yang didapatkan pada pengujian ini adalah MPa.



GAMBAR 2
Sketsa Alat Uji Tarik

B. Pengukuran Konduktivitas

Konduktivitas merupakan ukuran seberapa baik suatu bahan membawa muatan listrik. Hal ini berbanding terbalik dengan resistivitas. Pengukuran konduktivitas menggunakan metode *four-point probe*, penggunaan metode ini relatif sederhana dan memungkinkan mengukur resistivitas thin film.



GAMBAR 3
Metode *Four-Point Probe*

Resistansi elektroda dapat dikalkulasikan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$R = \frac{V}{I} \times CF1 \times CF2 \times CF3 \quad (1)$$

Di mana, R adalah resistansi *sample* (Ω), V adalah tegangan yang terbaca (Volt), dan I adalah arus yang diberikan. CF1, CF2, dan CF3 secara berurutan merupakan nilai faktor koreksi karena pengaruh ukuran *sample*, ketebalan *sample*, dan temperatur pada saat pengukuran FPP dilakukan. Nilai dari konduktivitas *sample* didapatkan berdasarkan persamaan dibawah ini.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R_s \times t} \quad (2)$$

C. Pengukuran EMG

Proses pengukuran pada alat EMG ini terdiri dari pembacaan Signal to Noise Ratio (SNR) dan juga pembacaan sinyal biopotensial bagian tubuh yang diinginkan. Pada pembacaan Signal to Noise Ratio (SNR) dilakukan pengalkulasian menggunakan persamaan dibawah ini:

$$SNR = 20 \log \left(\frac{S}{N} \right) \quad (3)$$

Dimana SNR merupakan nilai rasio sinyal terhadap derau, S merupakan tegangan RMS dari sinyal EMG yang terukur, dan N merupakan tegangan RMS dari sinyal noise yang diukur.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Penentuan Volume Tuang

Berdasarkan penentuan konsentrasi graphene, yakni doping graphene sebesar 5%wt yang memiliki sifat listrik (konduktivitas) paling baik di antara ketiganya, maka dilanjutkan dengan memberikan variasi terhadap volume tuang untuk mendapatkan ketebalan yang berbeda.

Proses mengatur ketebalannya dilakukan secara manual dengan membedakan volume larutan yang dituangkan pada petridish. Adapun perbandingan volume yang dilakukan adalah 10; 6.7; 5; dan 4ml dengan masing-masing ketebalan rata-rata yang didapatkan secara berurutan adalah 0.186; 0.163; 0.086; dan 0.071 mm.

B. Implementasi Volume Tuang

Pada tahap ini dilakukan variasi terhadap volume tuang yang mempengaruhi ketebalan thin film karena ketebalan mempengaruhi performa dari ZnO/PVA thin film nanokomposit [3]. Ketebalan diukur menggunakan CHY-CA thickness measurement instrumentation. Pengukuran ketebalan ini dilakukan dengan meletakkan elektroda di antara alas dan titik kontak dengan memposisikan titik kontak berada di tengah elektroda. Adapun diambil lima titik berbeda pada elektroda untuk melihat apakah ketebalannya merata. Hasil ketebalan dari kelima titik kemudian dirata-ratakan.



GAMBAR 4
Alat Ukur Ketebalan

Tahap selanjutnya, dilakukan kembali pengukuran sifat listrik dengan metode FPP. Pengujian sifat listrik ini dilakukan untuk memastikan sejauh mana variasi volume tuang (ketebalan) mempengaruhi sifat kelistrikannya.

C. Pengujian Resistivitas, Konduktivitas, dan SNR

Pengujian ini dibuat empat variasi terhadap ketebalan dengan cara membedakan jumlah volume larutan ZnO/PVA/GN yang dituangkan pada *petridish*. Berikut hasil pengukuran dimensi elektroda ZnO/PVA/GN 5%wt pada tabel dibawah ini.

TABEL 1
Nomenclatur Sampel Variasi Volume Tuang (Ketebalan)

Sampel	Volume Tuang (ml)	Ketebalan (mm)
A	10	0.186
B	6.7	0.163
C	5	0.086
D	4	0.071

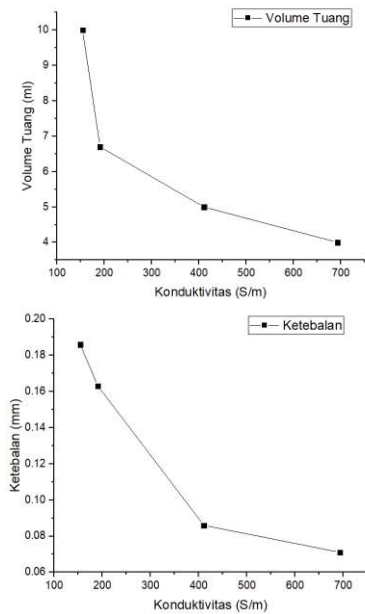
Pengujian sifat listrik pada keempat jenis ketebalan dengan metode four-point probe (FPP) kemudian dikalkulasikan sehingga mendapatkan nilai resistansi dan konduktivitas sebagaimana pada tabel dibawah ini.

TABEL 2
Hasil Pengukuran Resistivitas (ρ) dan Konduktivitas Elektroda Fleksibel dengan Metode FPP pada Variasi Volume Tuang

Sampel	ZnO/PVA/GN 3			
	A	B	C	D
Resistansi	34.887 $\Omega.m$	32.130 $\Omega.m$	28.311 $\Omega.m$	20.314 $\Omega.m$

Konduktivitas	154.107	190.940	410.725	63.358
	S/m	S/m	S/m	S/m

Berdasarkan hasil pengukuran di atas, elektroda D memiliki nilai konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan ketiga elektroda lainnya.



GAMBAR 5

Grafik Kenaikan Nilai Konduktivitas terhadap Volume Tuang dan Ketebalan

Konduktivitas EMG yang telah diukur dengan nilai tertinggi mencapai 693.358 S/m menunjukkan bahwa elektroda yang telah dirancang mampu memenuhi kriteria konduktivitas EMG, hal ini berpengaruh pada kualitas kontak yang kuat antara elektroda dan kulit. Kualitas kontak yang kuat sangat penting untuk mengurangi resistansi dan rongga yang tidak diinginkan sehingga dapat meningkatkan akurasi sinyal EMG yang dihasilkan.

Konduktivitas elektroda yang dihasilkan juga berpengaruh pada stabilitas sinyal EMG yang akan diukur, pada nilai konduktivitas terbaik (elektroda D, 693.358 S/m) EMG dapat dinyatakan mampu mempertahankan kualitas sinyal yang dihasilkan. Jika konduktivitas elektroda berubah-ubah atau tidak stabil, resistansi pada antarmuka surface electrode dapat berfluktuasi, menghasilkan perubahan dalam kualitas sinyal seiring waktu. Ini dapat mempengaruhi interpretasi dan analisis data EMG yang akurat [9].

TABEL 3

Nilai SNR (satuan dalam dB) dari Variasi Volume (ml) Tuang

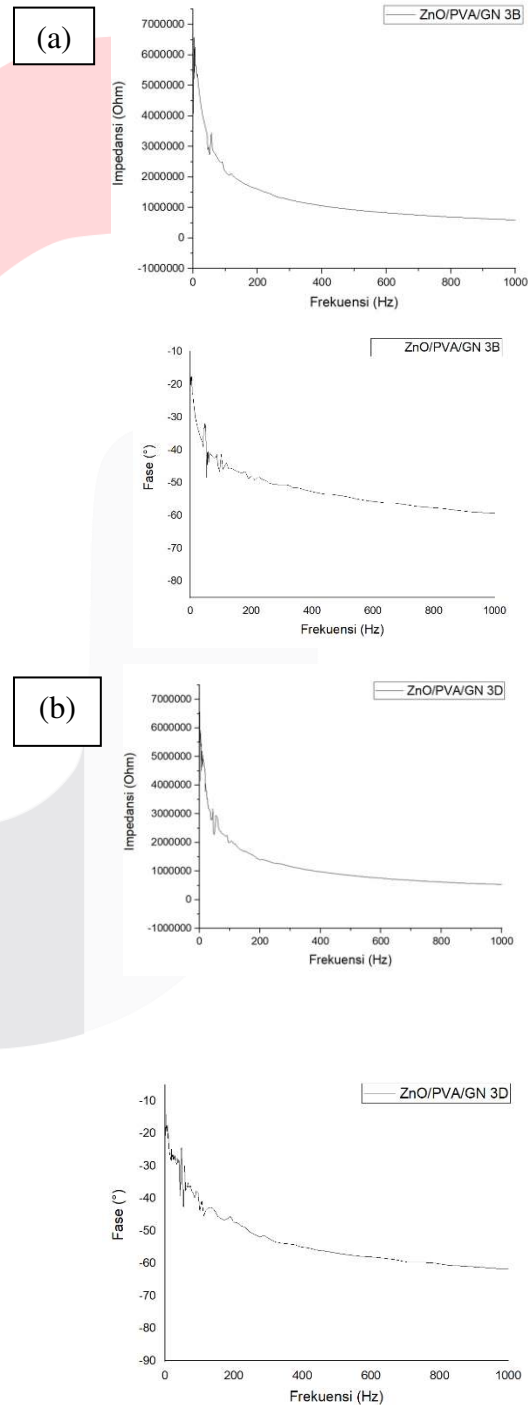
Sampel	3A	3B	3C	3D
SNR	16.28	22.85	34.56	35.89
	18.26	24.30	26.34	27.11

Berdasarkan pengujian pada EMG ini didapatkan nilai SNR sebagai tolak ukur kualitas sinyal EMG yang diperoleh elektroda fleksibel. Semakin besar nilai SNR maka semakin baik kualitas sinyal yang didapatkan. Pengaplikasian pada EMG ini dilakukan sebanyak dua kali,

yakni untuk dilakukan pengecekan bahwa sampel elektroda ZnO/PVA/GN ini dapat digunakan sebagai sinyal dan untuk diperoleh nilai SNR berdasarkan variasi volume tuang.

D. Pengujian Impedansi

Berdasarkan pengujian impedansi ini didapatkan nilai impedansi pada frekuensi 20-500 Hz. Selain nilai impedansi, diperoleh juga tren elektroda fleksibel dilihat dari frekuensi terhadap impedansi, fase, dan derajat. Tren tersebut kemudian dibandingkan dengan elektroda konvensional untuk dilihat kemiripannya berdasarkan kedua tren tersebut didapatkan tren sebagaimana ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



GAMBAR 6

Tren Frekuensi terhadap Impedansi dan Fase pada elektroda
ZnO/PVA/GN a) 3B dan b) 3D

V. KESIMPULAN

Pemilihan material elektroda yang tepat dapat membantu meningkatkan konduktivitas elektroda EMG dan kualitas sinyal EMG yang dihasilkan. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa material nanokomposit ZnO/PVA dengan penambahan doping graphene merupakan material konduktif yang mampu dan dapat digunakan sebagai bahan pembuat dari elektroda EMG. Variasi volume tuang dapat mempengaruhi nilai konduktivitas dan resistansi, semakin kecil volume tuang dalam (ml) dan semakin tipis ketebalan dari *thin film* maka nilai konduktivitas yang dihasilkan semakin besar. Variasi volume tuang dapat berdampak pada pembacaan sinyal otot, semakin tipis maka hambatan yang akan dihasilkan akan semakin sedikit dan sinyal yang diperoleh akan semakin baik.

REFERENSI

- [1] Saude, M. A. & Morshed, B. I. Polypyrrole (PPy) Conductive Polymer Coating of Dry Patterned Vertical CNT (pvCNT) Electrode to Improve Mechanical Stability. Electrical and Computing Engineering The University of Memphis, TN, 38152, USA, 2016.
- [2] dr., Safitri, Tania. Elektrokardiogram/Elektrokardiografi (EKG). Kesehatan Jantung. hellosehat.com, 2021.
- [3] Restepo, 2019, Antibacterial Nanocomposite of Poly(Lactic Acid) and ZnO Nanoparticles Stabilized with Poly(Vinyl Alcohol): Thermal and Morphological Characterization
- [4] Baruah, 2019, Poly (p-phenylenediamine)-based nanocomposites with metal oxide nanoparticle for optoelectronic and magneto-optic application.
- [5] Yu, Minghao, *et al.*, "Thin-Film Electrode-Based Supercapacitors", 2019
- [6] Acosta, Edwin. Thin Films/Properties and Applications. Intechopen.com, (2020).
- [7] Susumu International U.S.A. Features of thin film. Susumu.co.jp.
- [8] Hesty Susanti, Electromyography (EMG), Ketika Otot Rangka Manusia Menghasilkan Listrik, Bandung, 2021
- [9] Lei Zang, Hao He. "Fully organic compliant dry electrodes self-adhesive to skin for long-term motion-robust epidermal biopotential monitoring". Nature Communications, pp 4863, 2020.