

DAFTAR ISI

Struktur dan Konduktivitas Ionik Kaca LiMNPO_4 sebagai Katoda pada Baterai Sekunder S. (Qomariyah, W. Widanarto, W. T Cahyanto).....	1
Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis Biopotensial Mata (Studi Kasus : Mengontrol Aplikasi Berbasis Android) (Rahmat Maulana Yasin, Abdullah Nur Aziz, Hartono).....	9
Pengaruh Temperatur <i>Sintering</i> Terhadap Struktur dan Sifat Magnetik Ni^{2+} - Barium Ferit sebagai Penyerap Gelombang Mikro (Muhammad Iqbal Ramadhan, Wahyu Widanarto, Sunardi).....	23
Synthesis and Characterization of C, SnO_2 , and $\text{C}+\text{SnO}_2$ Materials through Resistance Measurement, UV-Visible Spectroscopy, and X-Ray Diffraction (Nabila Rahmasari, Azka Fathia, Wipsar Sunu Brams Dwandaru).....	29
Design of Turbine-Based Rain Measurement System (Hartono, Farzand Abdullatif, Sugito, and Zaroh Irayani).....	34

Struktur dan Konduktivitas Ionik Kaca LiMnPO₄ sebagai Katoda pada Baterai Sekunder

S. Qomariyah, W. Widanarto*, W. T Cahyanto

Jurusan Fisika, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. dr. Soeparno 61 Purwokerto 53123, Indonesia

*Corresponding Author: wahyu.widanarto@unsoed.ac.id

Abstrak - Katoda kaca *Lithium Manganese Phosphates* (LiMnPO₄) telah dibuat melalui reaksi *solid state* dan metode *melt quenching* pada temperatur 900 °C dengan komposisi 5 Li₂CO₃ : x MnO₂ : 15 ZnO : (80-x) P₂O₅ (dimana x = 0; 1,5 dan 3 dalam % mol). Karakterisasi sifat termal katoda yang meliputi temperatur transisi kaca T_g dilakukan dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Pengaruh penambahan MnO₂ terhadap struktur dan konduktivitas ionik katoda kaca dipelajari dengan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) dan LCR meter. Pola difraksi XRD yang diperoleh menunjukkan bahwa struktur semua katoda adalah *amorf*. Konduktivitas ionik katoda meningkat dengan bertambahnya konsentrasi MnO₂, namun konduktivitas cenderung menurun pada konsentrasi MnO₂ yang berlebihan. Nilai konduktivitas ionik tertinggi katoda sebesar 7,25x10⁻⁴ S/cm ditunjukkan oleh katoda kaca yang mengandung 1,5% MnO₂. Berdasarkan pengujian voltametri siklik dan *charge/discharge*, katoda kaca LiMnPO₄ sangat berpotensi untuk digunakan dalam baterai Lithium sekunder.

Kata kunci: Baterai ion Lithium, Katoda Kaca, Lithium Manganese Phosphates, Konduktivitas Ionik, Baterai Sekunder

Abstract - Glass Cathodes of Lithium Manganese Phosphates (LiMnPO₄) are prepared using the melt quenching method at temperatures of 900 °C with composition 5 Li₂CO₃ : x MnO₂ : 15 ZnO : (80-x) P₂O₅ (where x = 0, 1.5 and 3 mol %). Thermal properties of the cathodes including a glass transition temperature (T_g) are characterized using Differential Scanning Calorimetry (DSC). Influence of the MnO₂ addition on structure and ionic conductivity of cathodes are studied using X-ray Diffraction (XRD) and LCR meters, respectively. XRD diffraction patterns show that all of the cathode structures are amorphous. The ionic conductivity of the cathode increases with increasing of MnO₂ concentration, but the conductivity tends to decrease at the excessive concentration of MnO₂. The highest ionic conductivity of the cathode is 7.25x10⁻⁴ S/cm, exhibited by the glass cathode containing 1.5 mol % of MnO₂. According to cyclic voltammetry and charge/discharge tests, the LiMnPO₄ glass cathodes are very potential to be used in Secondary Lithium Battery.

Keywords: Lithium ion batteries, Glass Cathode, Lithium Manganese Phosphates, Ionic Conductivity, Secondary battery

PENDAHULUAN

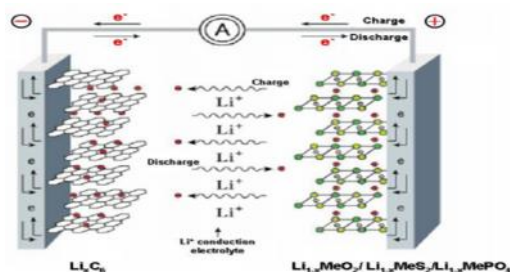
Perkembangan teknologi di bidang perangkat elektronik *portable* seperti *handphone*, tablet, kamera digital, laptop yang semakin canggih memicu permintaan penyimpanan energi listrik yang lebih maju pula. Baterai yang merupakan salah satu komponen penyimpan energi, kini terus diteliti dan dikembangkan untuk menghasilkan spesifikasi yang lebih baik. Salah satu jenis baterai yang saat ini sedang banyak dikembangkan yaitu baterai lithium. Baterai lithium terdiri dari tiga komponen utama yaitu elektrolit, anoda dan katoda. Suatu baterai ion lithium harus memiliki katoda yang dapat menahan suhu tinggi dan memiliki mobilitas ion lithium yang tinggi.

Salah satu material katoda yang saat ini mulai banyak dikembangkan, yaitu katoda tipe olivine seperti LiMnPO₄ dan LiFePO₄. Katoda LiMnPO₄ memiliki kapasitas teoritis yang sama seperti katoda LiFePO₄ yakni sekitar 170 mAh/g. LiMnPO₄ memiliki *working-potential* yang relatif lebih tinggi yaitu mendekati 4 V (vs. Li⁺/Li) bila dibandingkan dengan LiFePO₄ yang hanya berkisar 3,5 V (vs. Li⁺/Li). Potensial kerja yang dimiliki LiMnPO₄ membuatnya memiliki densitas energi yang lebih tinggi dan biaya produksi yang lebih rendah daripada LiFePO₄ [1]. Katoda LiMnPO₄ juga memiliki stabilitas termal yang baik, ramah lingkungan, dan aman digunakan sebagai bahan katoda menjanjikan untuk sistem baterai masa depan. Kelemahan dari katoda ini yaitu, nilai konduktivitas elektronik dan

konduktivitas ioniknya jauh lebih rendah ($<10^{-10}$ S/cm) dibandingkan dengan LiFePO_4 ($1,8 \times 10^{-9}$ S/cm), hal tersebut menyebabkan sifat elektrokimia dan laju difusi ion lithiumnya rendah. Beberapa penelitian telah banyak dilakukan guna meningkatkan konduktivitas listrik LiMnPO_4 , diantaranya yaitu pelapisan dengan karbon, pelapisan dengan logam atau logam oksida, doping dengan ion, serta optimasi ukuran partikel dan morfologi.

Baterai lithium ion beroperasi berdasarkan pada pergerakan ion-ion lithium, sehingga material katoda pada baterai lithium harus mempunyai konduktivitas ion yang tinggi untuk dapat menghantarkan ion-ion lithium dengan cepat.

Gambar 1 menunjukkan proses charge dan discharge pada baterai lithium, selama pelucutan muatan (*discharge*) logam Li pada anoda akan teroksidasi membentuk ion-ion Li^+ dan elektron-elektron ($\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + e^-$). Ion lithium yang dihasilkan bergerak dari anoda melalui elektrolit menuju ke katoda baterai, sedangkan elektron bergerak melalui suatu rangkaian listrik luar. Kebalikan dari proses tersebut adalah proses pengisian muatan (*charging*). Reaksi yang terjadi pada proses ini yaitu, terjadi reaksi oksidasi pada katoda yang menghasilkan elektron-elektron, oksigen dan ion-ion Li. Ion-ion lithium meninggalkan katoda dan berdifusi melalui elektrolit ke anoda. Bersamaan dengan perpindahan ion lithium, elektron juga ditransfer kembali ke anoda melalui suatu rangkaian luar. [2]



Gambar 1 Proses *discharge* dan *charge* pada baterai ion lithium

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan katoda kaca LiMnPO_4 dengan proses sintesis *solid state reaction* dan metode *melt quenching* (pendinginan pada suhu ruang). Katoda LiMnPO_4

akan dibuat dalam bentuk kaca, karena kaca memiliki banyak keuntungan, yaitu dapat dibuat dengan berbagai pilihan komposisi, bersifat isotropik, tidak ada batas butir, dapat disintesis baik pada suhu rendah dan tinggi serta kontrol parameter yang mudah. [3]

METODE

Pembuatan katoda kaca dilakukan di Laboratorium Fisika Eksperimen dan Kimia Anorganik FMIPA UNSOED. Katoda kaca dibuat dengan komposisi $5\text{Li}_2\text{CO}_3 : x\text{MnO}_2 : 15\text{ZnO} : (80-x)\text{P}_2\text{O}_5$ ($x = 0; 1,5; \text{ dan } 3$ dalam % mol). Variasi perbandingan komposisi diperlihatkan pada tabel berikut :

Tabel 1 Variasi komposisi pembuatan katoda kaca LiMnPO_4

x (%)	Li_2CO_3 (%)	MnO_2 (%)	ZnO (%)	P_2O_5 (%)
0	0.05	0	0.15	0.8
1.5	0.05	0.015	0.15	0.785
3	0.05	0.03	0.15	0.77

Campuran kelima bahan tersebut diletakkan dalam cawan *crucible* dan dipanaskan pada *electrical furnace* A (sebagai furnace pertama) pada temperatur sekitar 900°C dan ditahan selama 90 menit. Lelehan kaca kemudian dituangkan di atas lempeng *steinless steel* yang sebelumnya telah dipanaskan terlebih dahulu pada *electrical furnace* B (sebagai furnace pertama) yang suhunya dijaga konstan pada 300°C . Lelehan kaca tersebut ditahan di dalam *electrical furnace* selama 3 jam, kemudian kaca diangkat dan didinginkan mengeras pada temperatur ruang.

Karakterisasi katoda kaca dilakukan di PSTBM BATAN dan P2F LIPI Serpong. Proses karakterisasi sampel katoda kaca diawali dengan membuat pellet dan serbuk dari katoda kaca yang telah terbentuk, pellet dibuat dengan diameter 13mm menggunakan *press hydrolic* dengan tekanan 1 ton. Kaca LiMnPO_4 yang telah berbentuk pellet kemudian dikarakterisasi DSC untuk mengetahui suhu transisi gelas, karakterisasi XRD untuk mengetahui struktur kristal dari masing-masing sampel katoda kaca,

dan pengujian konduktivitas ionik menggunakan LCR meter.

Proses pengujian performa elektrokimia sel baterai katoda kaca LiMnPO_4 diawali dengan pembuatan slurry. Slurry terdiri dari LiMnPO_4 sebagai material aktif, PVDF, AB(Acetylene Black) dan DMAC, dengan perbandingan 85% Material aktif (LiMnPO_4) : 15% PVDF : 5% AB. Massa DMAC dihitung dari 20 x massa PVDF. Proses selanjutnya yaitu *coating*, slurry dilapiskan di atas lembaran aluminium foil dan kemudian dikeringkan di atas *hotplate*. Lembaran yang telah kering dipotong membentuk lingkaran berdiameter 23 mm. Sel baterai disusun di dalam holder, terdiri dari lembaran katoda, separator, anoda (lithium metal) dan elektrolit (LiFP_6), proses ini berlangsung di dalam glove box yang dialiri gas Argon. Rangkaian sel baterai tersebut kemudian diuji performa elektrokimianya menggunakan *cyclic voltammetry* dan *charge/discharge*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

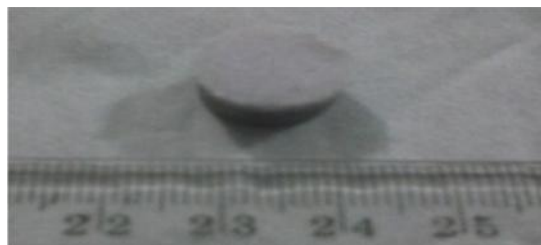
Pembuatan Sampel Kaca LiMnPO_4

Sampel katoda kaca LiMnPO_4 dibuat dengan menggunakan metode *melt quenching*. Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan katoda kaca LiMnPO_4 , yaitu Li_2CO_3 , MnO_2 , ZnO , dan P_2O_5 . Bahan Li_2CO_3 digunakan sebagai pengubah lithium yaitu untuk memperoleh Li_2O , sedangkan ZnO merupakan bahan *modifier* (pengubah kaca) yang berfungsi sebagai penstabil pada proses pembuatan kaca, P_2O_5 merupakan bahan pembentuk kaca fosfat, sedangkan MnO_2 merupakan bahan yang digunakan sebagai doping yang komposisinya divariasikan.



Gambar 3 Sampel kaca LiMnPO_4

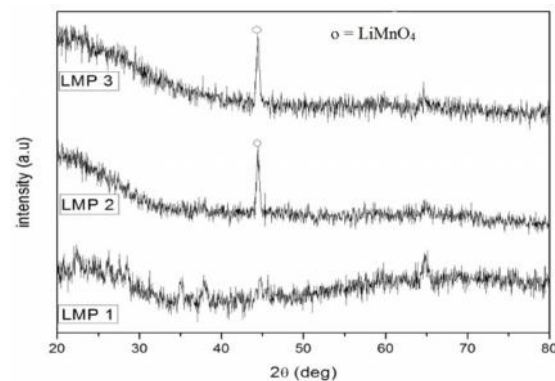
Katoda kaca yang telah terbentuk ditumbuk dengan menggunakan mortar hingga halus dan homogen. Serbuk kaca kemudian dicetak menggunakan cetakan pellet berdiameter 13 mm dan di press menggunakan *hydraulic press* pada tekanan 1 ton dan penahanan 3 menit.



Gambar 4 Sampel kaca LiMnPO_4 dalam bentuk pellet

1. Struktur Katoda Kaca LiMnPO_4

Karakterisasi struktur katoda kaca LiMnPO_4 menggunakan XRD dilakukan pada rentang 2θ antara 20° - 80° dengan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ 1,54 Å. Karakterisasi XRD dilakukan untuk menunjukkan struktur kristal dari kaca LiMnPO_4 , pada umumnya kaca berstruktur amorf. Material dengan struktur amorf mempunyai susunan atom yang tidak teratur, hal ini berbeda dengan material kristalin, dimana atom-atomnya tersusun rapi. Ketidakteraturan susunan atom pada struktur amorf inilah yang diharapkan dapat memberikan ruang lebih untuk ion-ion lithium dapat bergerak bebas.



Gambar 5 Spektrum XRD Katoda Kaca LiMnPO_4

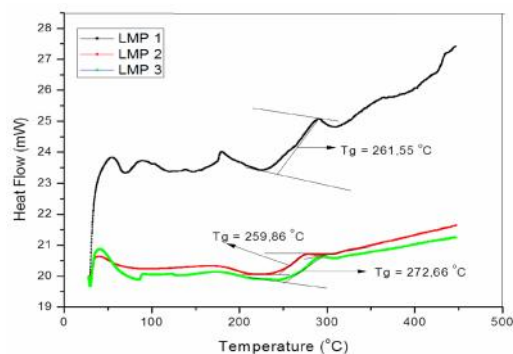
Hasil pola difraksi XRD menunjukkan ketiga sampel katoda kaca yang dihasilkan memiliki struktur amorf. Hal ini dapat dilihat bahwa pola difraksi XRD tersebut melebar dan tidak adanya puncak-puncak (peak) yang signifikan. Pola ini berbeda dengan material kristalin yang memiliki

lebih dari satu peak difraksi. Namun, ada sebuah peak yang terlihat pada sampel kedua dan ketiga yaitu pada posisi $2\theta = 44,41^\circ$. Berdasarkan data ICDD Nomor 04-017-2508 dan Nomor 00-052-1841 diketahui bahwa peak tersebut menunjukkan fase LiMnO_4 . Munculnya peak ini kemungkinan karena pada proses pencampuran bahan tidak homogen atau masih adanya pengotor. Pembuatan katoda kaca dilakukan dengan metode *solid state*, metode ini diketahui mempunyai kekurangan yaitu sampel yang dihasilkan kurang homogen. Hal ini juga berkaitan dengan bahan yang digunakan dalam pembuatan katoda kaca, yaitu P_2O_5 yang bersifat *hygroscopics* (mudah mengikat oksigen). Bahan P_2O_5 ini mudah menggumpal ketika berinteraksi dengan udara sehingga pada saat pencampuran tidak semua bahan tercampur merata.

Pembuatan katoda khususnya untuk tipe *olivine* sebaiknya dilakukan dengan mengontrol *atmosphere*, salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menempatkan sampel pada kondisi inert (dialiri gas Nitrogen/Argon). Dengan kontrol *atmosphere* yang tepat dapat dihasilkan sampel dengan sedikit pengotor (*impurity*) serta dapat mengurangi terjadinya reaksi-reaksi yang tidak diperlukan, seperti reaksi pengikatan terhadap oksigen. Qi Lu, dkk membuat katoda LiMnPO_4 didopping Mg dengan pemanasan pada kondisi inert untuk membuat material yang homogenya [4], penelitian terkait juga dilakukan oleh Kinamura, dkk dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas material. [5]

2. Sifat Termal Katoda Kaca LiMnPO_4

Karakterisasi DSC yang dilakukan pada penelitian ini hanya untuk mengetahui nilai transisi kaca (T_g). Sampel pada karakterisasi DSC dipanaskan dari suhu 30°C sampai 450°C pada laju $10^\circ\text{C}/\text{menit}$.

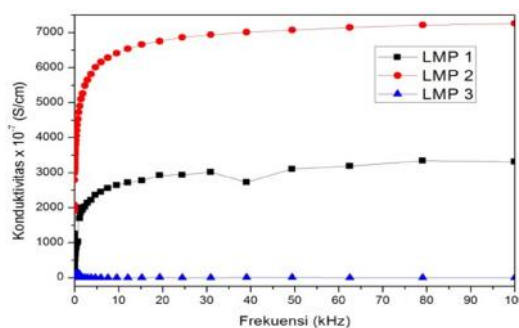


Gambar 6 Grafik DSC Katoda Kaca LiMnPO_4

Selama rentang temperatur dari 0°C sampai 500°C terjadi reaksi eksotermik atau reaksi pelepasan panas yang ditunjukkan dengan adanya kenaikan nilai temperatur dan reaksi penyerapan panas atau endotermik saat terjadi penurunan nilai perubahan temperatur (ΔT). Temperatur transisi gelas (T_g) teramati saat ada perubahan reaksi eksotermik menuju reaksi endotermik secara tiba-tiba dari sampel kaca yang menyebabkan penurunan nilai perbedaan temperatur secara tiba-tiba pada kurva.

3. Konduktivitas Katoda Kaca LiMnPO_4

Pengukuran konduktivitas pada sampel katoda kaca dilakukan menggunakan alat LCR meter pada range frekuensi $1\text{ Hz} - 100\text{ KHz}$ dengan tegangan acuan sebesar 1 Volt.



Gambar 7 Grafik Konduktivitas Katoda Kaca LiMnPO_4

Perubahan nilai konduktivitas pada kurva menandakan adanya pergerakan ion yang terjadi pada sampel katoda kaca selama proses pengujian LCR meter. Nilai konduktivitas untuk masing-masing sampel secara jelas disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 3 Nilai Konduktivitas katoda kaca LiMnPO₄

Sampel	Konduktivitas min (S/cm)	Konduktivitas maks (S/cm)
LMP-1	$2,73 \times 10^{-5}$	$3,34 \times 10^{-4}$
LMP-2	$1,90 \times 10^{-4}$	$7,25 \times 10^{-4}$
LMP-3	$3,77 \times 10^{-9}$	$1,20 \times 10^{-5}$

Nilai konduktivitas katoda kaca mencapai nilai maksimum pada komposisi MnO₂ 1,5%, sedangkan pada komposisi 3% nilai konduktivitas cenderung menurun. Penambahan konsentrasi MnO₂ dapat meningkatkan nilai konduktivitas, namun ada batasan nilai tertentu dimana konduktivitas justru cenderung menurun dengan semakin bertambahnya konsentrasi MnO₂. Menurunnya nilai konduktivitas pada komposisi 3% ini disebabkan karena terlalu banyaknya konsentrasi MnO₂ dapat menghambat laju pergerakan dari ion-ion lithium. Konsentrasi MnO₂ yang tinggi dalam katoda menurunkan mobilitas ion karena adanya tumbukan saat diterapkan dengan medan listrik kecil. Ion mengalami tumbukan dan kehilangan sebagian atau seluruh energi kinetiknya. Akibatnya, kecepatannya berkurang diikuti oleh penurunan mobilitas dan konduktivitas ionik. [3]

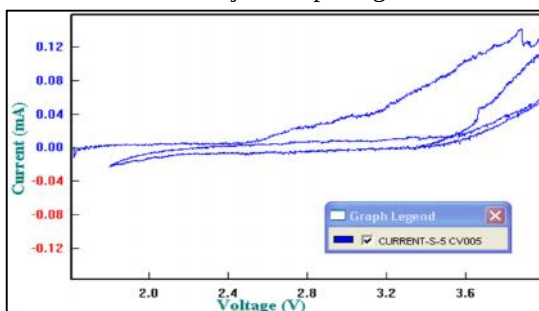
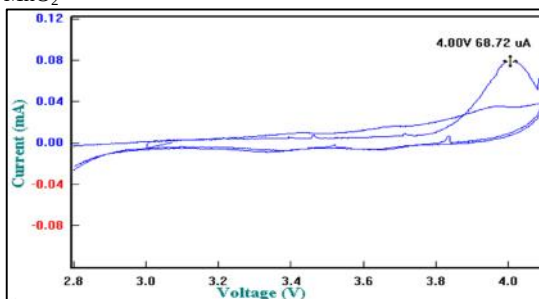
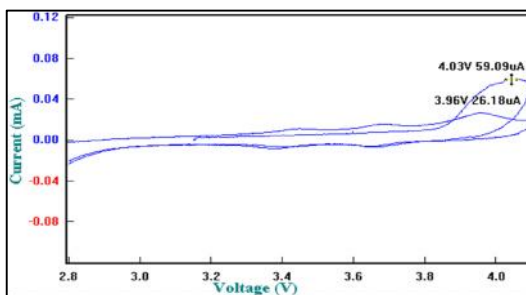
Nilai konduktivitas tertinggi yang didapat adalah sebesar $7,25 \times 10^{-4}$ S/cm, yaitu pada sampel katoda dengan komposisi MnO₂ 1,5%. Jika kita bandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya terkait pembuatan katoda baterai, nilai konduktivitas yang didapat pada penelitian ini sudah lumayan besar. Seperti yang disebutkan oleh Guo bahwa konduktivitas LiMnPO₄ yaitu sekitar $<10^{-10}$ S/cm. [6]

4. Performa Katoda kaca LiMnPO₄ sebagai Sel Baterai

Performa kaca LiMnPO₄ sebagai katoda pada rangkaian sel baterai dapat diuji dengan menggunakan *cyclic voltametry*. Hasil dari *Cyclic voltametry* berupa voltamogram, yaitu grafik hubungan antara tegangan terhadap arus. Sel

baterai diberikan tegangan pada range tertentu, kemudian diukur besarnya arus yang terjadi.

Berdasarkan voltamogram dapat diketahui adanya peak oksidasi dan peak reduksi. Sel baterai yang menunjukkan adanya peak oksidasi dan reduksi maka menyatakan bahwa material tersebut mampu mengalami proses charge dan discharge, hal ini merupakan syarat dasar sebagai baterai sekunder (*rechargeable*). Voltamogram hasil pengujian *Cyclic Voltametry* untuk sampel katoda kaca LiMnPO₄ ditunjukkan pada gambar berikut :

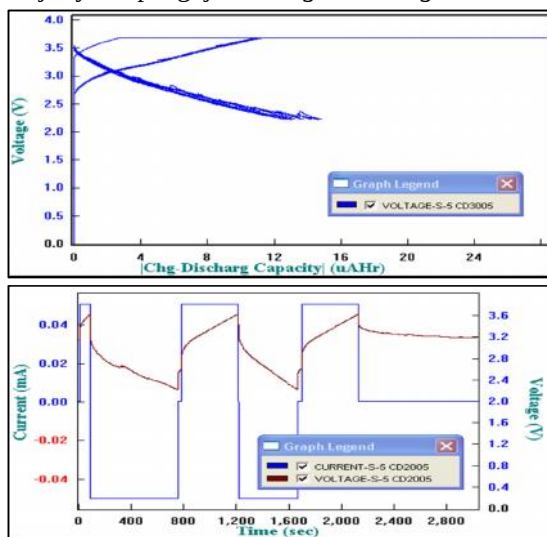
**Gambar 8** Voltamogram Katoda Kaca LiMnPO₄ dengan 0% MnO₂**Gambar 9** Voltamogram Katoda Kaca LiMnPO₄ dengan 1.5% MnO₂**Gambar 10** Voltamogram Katoda Kaca LiMnPO₄ dengan 3% MnO₂

Berdasarkan ketiga voltamogram tersebut dapat terlihat bahwa ketiga sampel mengalami peak oksidasi. Reaksi oksidasi dapat terlihat pada grafik, yaitu dengan adanya peningkatan arus positif. Sedangkan peak reduksi dari ketiga

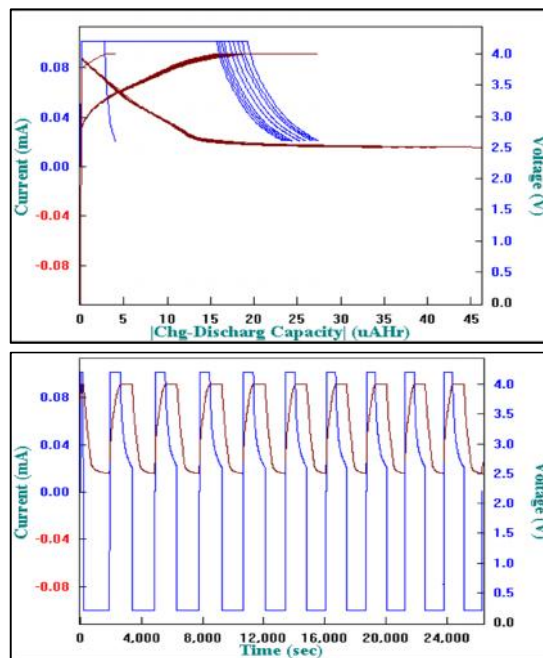
sampel tidak begitu terlihat, namun peak tersebut tetap ada hanya nilainya terlalu kecil. Adanya proses reduksi ini dapat terlihat pada grafik, yaitu ditunjukkan dengan adanya arus negatif. Peak reduksi yang rendah pada ketiga sampel menunjukkan bahwa ion Li^+ yang berpindah ke anoda selama proses *charging*, tidak semuanya kembali ke anoda ketika proses *discharging*.

Berdasarkan grafik *cyclic voltammetry* ini dapat dikatakan bahwa katoda kaca LiMnPO_4 mampu mengalami oksidasi dan reduksi, walaupun nilai peak reduksinya masih sangat kecil. Kecilnya nilai peak reduksi ini kemungkinan karena katoda kaca yang dihasilkan agak sedikit basah (mengikat oksigen). Hal ini berkaitan dengan penggunaan bahan P_2O_5 yang memang merupakan bahan higroskopis. Selain itu, pada penyusunan sel baterai, elektrolit yang digunakan adalah elektrolit cair yaitu LiPF_6 , yang dapat membuat katoda kaca LiMnPO_4 menjadi semakin basah.

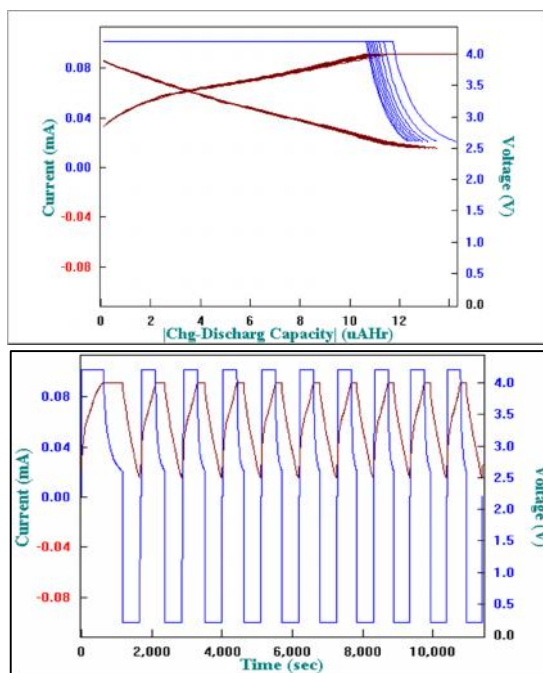
Katoda kaca LiMnPO_4 berhasil mengalami proses reduksi dan oksidasi, namun untuk lebih meyakinkan bahwa katoda mampu digunakan sebagai sel baterai sekunder perlu pengujian lebih lanjut yaitu pengujian *charge-discharge*.



Gambar 11 Grafik pengujian charge/discharge Katoda Kaca LiMnPO_4 dengan 0% MnO_2



Gambar 12 Grafik pengujian charge/discharge Katoda Kaca LiMnPO_4 dengan 1.5% MnO_2



Gambar 13 Grafik pengujian charge/discharge Katoda Kaca LiMnPO_4 dengan 3% MnO_2

Pada pengujian *charge/discharge*, diketahui bahwa semua sampel katoda kaca mengalami proses *charge* dan *discharge*, artinya katoda kaca LiMnPO_4 ini sudah memenuhi syarat awal untuk diaplikasikan sebagai baterai sekunder.

Berdasarkan grafik pengujian *charge/discharge* dapat diperoleh nilai tegangan kerja untuk sampel LMP-1 (komposisi MnO_2 0%) sebesar 2,93 V, LMP-2 (komposisi MnO_2 1,5%) sebesar 2,47 V dan LMP-3 (komposisi MnO_2 3%) sebesar 3,33 V. Waktu *charge/discharge* dari ketiga sampel juga dapat diketahui, yaitu waktu *charge* dan *discharge* untuk sampel LMP-1 adalah 8 menit dan 12 menit, untuk sampel LMP-2 adalah 31 menit dan 25 menit, sedangkan untuk sampel LMP-3 adalah 20 menit dan 18 menit.

Grafik pengujian *charge/discharge* juga dapat menunjukkan nilai kapasitas dari masing-masing sampel katoda kaca LiMnPO_4 . Sampel dengan komposisi MnO_2 0% menunjukkan nilai kapasitas sebesar 16 μAhr , sedangkan sampel selanjutnya menunjukkan nilai kapasitas 45 μAhr , dan sampel terakhir menunjukkan nilai kapasitas sebesar 13 μAhr . Katoda kaca LiMnPO_4 yang dibuat berhasil menunjukkan sifat sebagai baterai sekunder karena mampu mengalami proses *charge* dan *discharge*, namun katoda ini belum berhasil menunjukkan nilai kapasitas yang baik.

Tabel 4.1 Data nilai pengujian *charge/discharge* katoda kaca LiMnPO_4

Sampel	Voltage (V)	Waktu Charge (menit)	Waktu Discharge (menit)	Kapasitas (μAhr)
LMP 1	2,93	8	12	16
LMP 2	2,47	31	25	45
LMP 3	3,33	20	18	13

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Katoda kaca LiMnPO_4 berhasil dibuat menggunakan metode *melt quenching* dengan persentase komposisi bahan 5 Li_2CO_3 : x MnO_2 : 15 ZnO : (80-x) P_2O_5 (dimana x = 0; 1,5; dan 3 dalam % mol).
2. Struktur Katoda kaca LiMnPO_4 bersifat *amorf* untuk semua sampel, namun ada peak pengotor pada beberapa sampel, yang diduga sebagai fase LiMnO_4 . Besarnya nilai konduktivitas optimum

pada komposisi MnO_2 1,5%. Nilai konduktivitas tertinggi adalah sebesar $7,25 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$, yaitu pada sampel katoda dengan komposisi MnO_2 1,5%.

3. Katoda kaca LiMnPO_4 memenuhi syarat sebagai katoda dalam baterai sekunder, yang ditandai dengan adanya peak oksidasi dan peak pada pengujian *cyclic voltammetry* dan adanya proses *charge* dan *discharge*.

Saran

1. Bahan katoda kaca yang digunakan pada penelitian ini yaitu P_2O_5 merupakan bahan higroskopik, sehingga sampel yang dihasilkan agak berair. Oleh karena itu perlu ruangan ber-AC untuk menangani bahan tersebut, serta perlu tempat penyimpanan yang bebas udara, seperti desikator dsb. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah adanya reaksi antara bahan dengan udara.
2. Sebaiknya gunakan furnace yang inert dalam pembuatan katoda kaca LiMnPO_4 , hal ini agar katoda kaca yang dihasilkan mempunyai *impurity* yang rendah, sehingga dapat dihasilkan nilai konduktivitas yang lebih tinggi.
3. Sebaiknya gunakan elektrolit padat saat pengujian performa baterai, karena aplikasi katoda kaca LiMnPO_4 adalah sebagai *solid state battery*, sehingga katoda dan elektrolit yang digunakan haruslah berbentuk padat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jian, L., Heng, Y. S., Ming, Z. H., & Jun, G. W. (2014). Preparation of $\text{LiMn}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}\text{PO}_4/\text{C}$ Composite by A New Route Combining Solid-state Reaction with Hydrothermal Synthesis. *Journal of Inorganic Materials*, **29**(4), 443-447.
- [2] Stark, M. A. (2011). "Synthesis of Nanosized, Electrochemically Active Lithium Transition Metal Phosphates". Disertasi Universitas Ulm, Jerman.

- [3] Widanarto, W., Sahar, M. R., Ghoshal, S. K., Mashadi, Gustiono, D., & Effendi, M. (2014). Improved Thermal Features and Ionic Conductivity of Lithium-Zinc-Tellurite Glass Electrolytes. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, **10(4)**, 207-210.
- [4] Lu, Qi., Gregory, S Hutchings., Yang, Zhou., Huolin, L Xi., Haimei, Zheng., & Feng, Jiao. (2014). Nanostructured Flexible Mg-Modified LiMnPO₄ Matrix as High-rate Cathode Materials for Li-ion Batteries. *Journal Materials Chemistry A*, **02**, 6368–6373.
- [5] Kanamura, Kiyoshi., Hirokazu Munakata., & Yusuke Namiki. (2013). Phosphate Materials For Rechargeable Battery Applications. *Phosphorus Research Bulletin*, **28**, 030-036.
- [6] Guo, H., Wu, C., Liao, L., Xie, J., Zhang, S., Zhu, P. (2013). Performance Improvement of Lithium Manganese Phosphate by Controllable Morphology Tailoring with Acid-Engaged Nano Engineering. *Inorganic Chemistry*.

Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis Biopotensial Mata (Studi Kasus : Mengontrol Aplikasi Berbasis Android)

Rahmat Maulana Yasin, Abdullah Nur Aziz*, Hartono

Fisika, FMIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Corresponding Author: abd.nur.aziz@gmail.com

Abstrak - Perbedaan muatan antara dalam dan luar sel mengakibatkan perbedaan potensial pada sel yang disebut dengan biopotensial. Biopotensial yang dapat diukur salah satunya adalah biopotensial mata. Pada penelitian ini, biopotensial mata diterapkan pada sistem kontrol aplikasi *smartphone* berbasis Android. Sistem kontrol tersebut dapat membantu penyandang tunadaksa dalam mengoperasikan *smartphone*. Sistem dirancang dengan komponen perangkat keras yang terdiri dari elektroda Ag/AgCl, penguat instrumentasi, *Driven Right Leg* (DRL), *high pass filter*, *low pass filter*, penguat *non-inverting* dan penguat penjumlah yang selanjutnya diproses menggunakan Arduino Uno dan dikirim ke *smartphone* dengan koneksi *Bluetooth*. Aplikasi android dibuat menggunakan App Inventor 2 berupa aplikasi Surah Yaasiin. Selanjutnya diukur batas nilai pergerakan mata ke kanan dan ke kiri pada lima orang subjek dengan menginstruksikan menggerakkan mata ke kiri, lurus dan kanan. Nilai yang diperoleh untuk pergerakan mata ke kanan sebesar $\leq 1,87V$ dan ke kiri sebesar $\geq 2,23V$ yang selanjutnya dimasukkan dalam program arduino. Sistem selanjutnya diuji pada lima orang subjek dengan menghubungkan aplikasi ke *Bluetooth* rangkaian dan diamati respon pada aplikasi untuk menentukan nilai akurasi dan error dari sistem. Pengujian dilakukan dengan pengulangan tiap gerakan ke kanan dan ke kiri sebanyak 20 kali tiap subjek. Diperoleh akurasi rata-rata pergerakan mata ke kanan sebesar 84% dan ke kiri sebesar 86%, sedangkan nilai rata-rata error untuk pergerakan mata ke kanan sebesar 16% dan ke kiri sebesar 14%.

Kata kunci: Biopotensial, elektroda, mata, sistem kontrol, *smartphone*.

Abstract - The difference charge between the inside and outside of cells creates potential differences on the cells are called biopotentials. Biopotential that can be measured one of them is biopotential of the eye. In this research, biopotential of eye applied to the control system of smartphone app based on Android. The control system can help the disabled in operating the smartphone. The system is designed with hardware components consisting of Ag/AgCl electrodes, instrumentation amplifier, Driven Right Leg (DRL), high pass filter, low pass filter, non-inverting amplifier and summing amplifier which are further processed using Arduino Uno and sent to the smartphone by the Bluetooth connection. The Android app created using App Inventor 2 is a Surah Yaasiin app. Further measured the value of the movement of the eye to the right and left on the five subject by instructing moving the eye to the left, straight and right. Values obtained for right eye movement of $\leq 1.87V$ and to the left of $\geq 2.23V$ are then included in the Arduino program. The system was further tested on five subjects by connecting the application to the Bluetooth of Circuit and observed the response on the application to determine the accuracy and error value of the system. The test is done by repeating each movement to the right and left as much as 20 times each subject. The accuracy of the average eye movement to the right is 84% and to the left 86%, while the average error for the right eye movement is 16% and the left is 14%.

Keywords: Biopotential, control system, electrode, eye, smartphone.

PENDAHULUAN

Tubuh manusia terdiri dari berbagai macam sistem salah satunya adalah sistem kelistrikan. Contoh sistem kelistrikan terjadi pada potensial listrik yang mengalir pada sel-sel saraf dan serat otot. Potensial listrik ini berasal dari aliran ion bermuatan masuk dan keluar sel sehingga terjadi

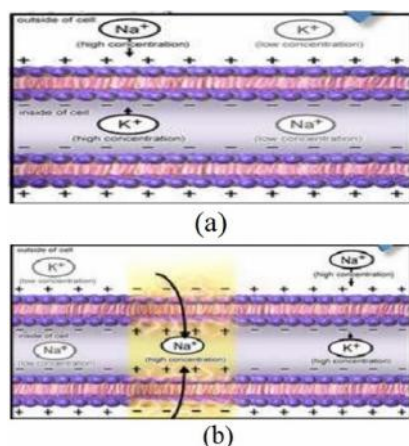
perbedaan potensial antara luar dan dalam sel atau disebut dengan biopotensial (Cleveland Medical Device Inc, 2006). Biopotensial yang dapat diukur salah satunya biopotensial mata atau EOG (Elektrookulogram).

Pada penelitian ini, biopotensial mata akan digunakan sebagai alat bantu penyangang tunadaksa untuk dapat mengontrol aplikasi pada *smartphone* berbasis android. Diharapkan dengan adanya sistem kontrol ini dapat membantu penyangang tunadaksa untuk dapat mengontrol aplikasi pada *smartphone* android.

TINJAUAN PUSTAKA

Biopotensial Mata

Biopotensial pada tubuh manusia terdiri dari dua jenis yaitu *resting potential* dan *action potential*. *Resting potential* terjadi ketika akson sedang beristirahat, Natrium berada di luar sel dan Kalium berada di dalam sel. Terjadi perbedaan konsentrasi antara kalium dan natrium, konsentrasi kalium lebih tinggi dari natrium di dalam sel sementara konsentrasi natrium lebih tinggi dari kalium di luar sel. Perbedaan konsentrasi tersebut mengakibatkan terjadinya pemompaan natrium ke dalam dan kalium ke luar sel sehingga anion memberikan muatan negatif untuk menjaga keseimbangan. Sedangkan *action potential* terjadi ketika akson aktif, natrium berada di dalam sel dan kalium berada di luar sel. *Action potential* merupakan kebalikan dari *resting potential* (Namdev & Siddiqui, 2015).



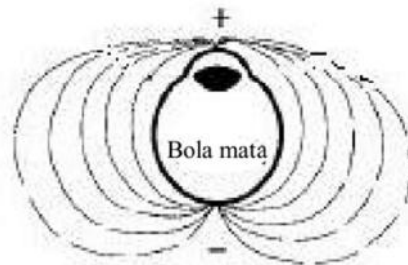
Gambar 1. (a) *resting potential* (b) *action potential*.

Beda potensial yang terjadi pada saat resting potential dapat direpresentasikan dengan persamaan Goldman :

$$V = -\frac{kT}{q_p} \ln \left(\frac{p_K [K^+]_i + p_{Na} [Na^+]_i + p_{Cl} [Cl^-]_o}{p_K [K^+]_o + p_{Na} [Na^+]_o + p_{Cl} [Cl^-]_i} \right) \quad (1)$$

Potensial yang terjadi bergantung pada temperatur (T), muatan proton (q_p), permeabilitas unsur (P), dan konsentrasi dari tiap ion (Hadiyoso & Rizal, 2015).

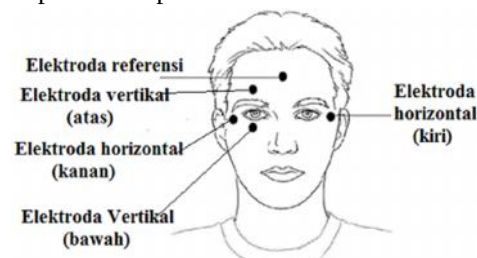
Pada elektrookulogram (EOG) sinyal biopotensial yang diterima merupakan *resting potential* dari mata yaitu antara kornea dan retina atau disebut dengan *corneal retinal potential* (CRP). Mata memiliki dua kutub dengan kornea menjadi kutub positif sedangkan retina menjadi kutub negatif (Namdev & Siddiqui, 2015). Hal ini digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Posisi kutub dan medan listrik mata

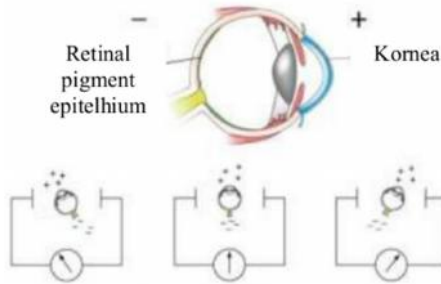
Elektrookulografi

Elektrookulografi merupakan salah satu teknik medis yang mana elektroda ditempatkan di dahi dekat mata untuk merekam gerakan mata. Gerakan mata dapat direkam dengan menempatkan elektroda di sebelah kiri dan kanan mata untuk mendeteksi gerakan horizontal atau di atas dan di bawah mata untuk mendeteksi gerakan vertikal (Namdev & Siddiqui, 2015). Gerakan vertikal dari mata yang terbaik diukur pada bagian atas mata sedangkan untuk gerakan horizontal terbaik diukur pada tulang disisi mata (Hadiyoso & Rizal, 2015). Penempatan elektroda dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penempatan Elektroda

Mata digambarkan sebagai dipol tetap dengan kutub positif di kornea dan kutub negatif di retina. Ketika mata bergerak menuju salah satu elektroda, maka sisi positif dari retina menuju elektroda tersebut dan sisi negatif mata pada elektroda lainnya. Sinyal biopotensial mata berada pada kisaran frekuensi 0,1 Hz sampai 30 Hz (Constable *et al.*, 2017)

**Gambar 4.** Posisi kutub pada mata

Elektroda

Elektroda yang banyak digunakan sebagai alat penyadap sinyal biopotensial adalah elektroda Ag/AgCl (*Silver/Silver Chloride*). Elektroda ini banyak digunakan karena pemakaian yang mudah dan handal. Selain itu, elektroda ini dapat digunakan pada suhu lebih dari 100°C (Suryanto, 2007).

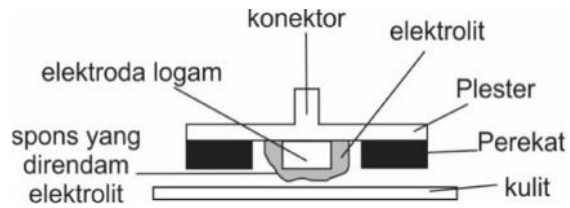
Elektroda Ag/AgCl ini kecil, mudah dibawa dan dapat digunakan pada berbagai penggunaan dan biasanya tidak mengkontaminasi media secara signifikan. Reaksi keseimbangan elektroda ini dapat ditulis sebagai berikut :



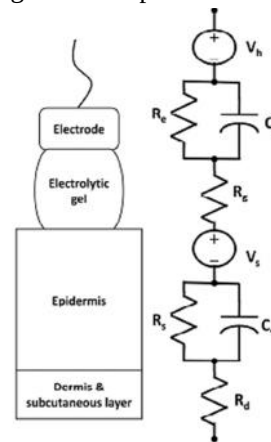
Dari persamaan reaksi, dapat diketahui bahwa potensial elektroda bergantung pada aktivitas ion Cl^- . Bentuk elektroda yang digunakan untuk EOG adalah seperti pada Gambar 5

**Gambar 5.** Elektroda Ag/AgCl untuk menyadap sinyal biopotensial

Konstruksi dari elektroda pada Gambar 5 dapat dilihat pada Gambar 6.

**Gambar 6.** Konstruksi elektroda Ag/AgCl

Model listrik dari antarmuka elektroda hingga kulit dapat digambarkan pada Gambar 7.

**Gambar 7.** Model listrik biopotensial pada permukaan kulit

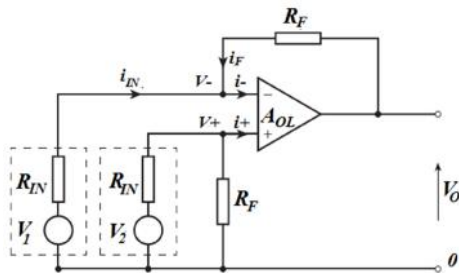
Gambar 7 menggambarkan suatu model listrik dari antarmuka elektroda-kulit yang basah. Dalam model ini, V_h , R_e dan C_e adalah *half cell potential* dari elektroda, resistensi dan kapasitansi. R_g adalah resistansi efektif dari gel, V_s adalah potensial karena semi-permeabilitas dari stratum korneum, lapisan atas epidermis; R_s dan C_s adalah resistensi dan kapasitansi dari lapisan epidermis dan R_d adalah resistensi dari lapisan kulit yang lebih dalam (Fleury, Sugar, & Chau, 2015).

Penguat Diferensial

Penguat diferensial merupakan suatu penguat dengan tegangan keluaran atau V_{out} yang merupakan hasil selisih antara kedua buah tegangan masukan pada terminal *inverting* dan *non-inverting*nya (Bentley, 2005). Rumus umum

yang berlaku untuk penguat diferensial adalah sebagai berikut :

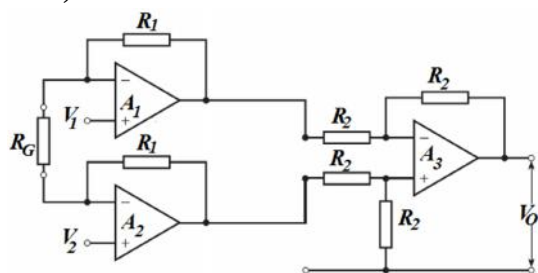
$$V_{out} = \frac{R_F}{R_{IN}}(V_2 - V_1) \quad (2)$$



Gambar 8. Rangkaian Penguat Diferensial

Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi adalah pengembangan dari penguat diferensial (selisih tegangan) yang mengakomodasi masukan selisih tegangan. Penguat instrumentasi dibangun oleh tiga buah op-amp. Op-amp 1 dan 2 (A_1 dan A_2) dikonfigurasi sebagai penguat *non-inverting*, sedangkan op-amp ketiga (A_3) dikonfigurasi sebagai penguat selisih tegangan. Penguat instrumentasi didesain dan harus memenuhi tegangan *offset* minimum, penguatan stabil, ketaklinieran rendah, *input* impedansi sangat tinggi, *output* impedansi sangat rendah, serta rasio penolakan modus bersama (*common mode rejection ratio*, CMRR) sangat tinggi (Bentley, 2005).



Gambar 9. Rangkaian Penguat Instrumentasi

Tegangan keluaran yang dihasilkan dari rangkaian Gambar 9 ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)(V_2 - V_1) \quad (3)$$

Sedangkan penguatannya dirumuskan sebagai :

$$A = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right) \quad (4)$$

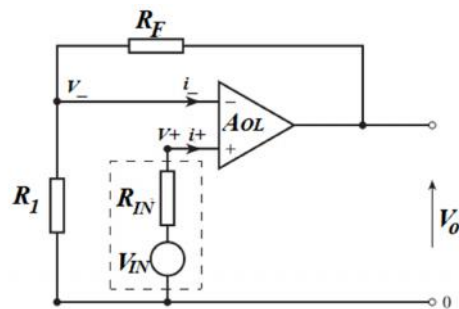
Penguat Tak Membalik

Penguat tak membalik merupakan rangkaian untuk menguatkan tegangan dengan keluaran memiliki fasa yang sama dengan masukannya (Bentley, 2005). Tegangan keluaran dari rangkaian ini sebagai berikut :

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_i} + 1\right)V_{in} \quad (5)$$

Sedangkan penguatannya dapat dituliskan sebagai berikut :

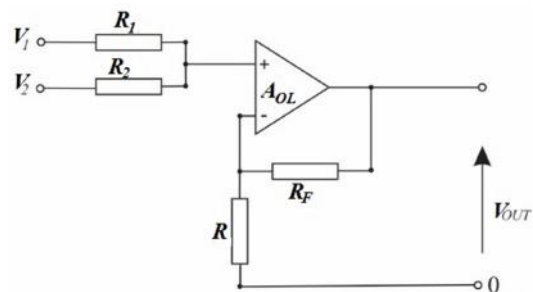
$$A_v = \left(\frac{R_f}{R_i} + 1\right) \quad (6)$$



Gambar 10. Rangkaian Penguat tak membalik

Penguat Penjumlah

Rangkaian adder atau penjumlah sinyal menggunakan konfigurasi Op-Amp sebagai penguat dengan *input* lebih dari satu untuk menghasilkan nilai keluaran yang linier dengan hasil penjumlahan sinyal *input* dan faktor penguatannya. Dasarnya, rangkaian ini tersusun dari penguat membalik atau tak membalik yang diberi input lebih dari satu (Bentley, 2005).



Gambar 11. Penguat penjumlah tak membalik

Rangkaian penjumlah tak membalik memiliki penguatan yang tidak melibatkan resistansi input yang digunakan. Sehingga sebaiknya nilai resistansi inputnya bernilai sama agar hasil penjumlahan stabil dan akurat. Penguatan dari rangkaian ini sama seperti persamaan (6) sedangkan keluarannya sebagai berikut :

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R} + 1 \right) \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2 \right) \quad (7)$$

Ketika nilai $R_1 = R_2 = R$ maka

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R} + 1 \right) \cdot \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right) \quad (8)$$

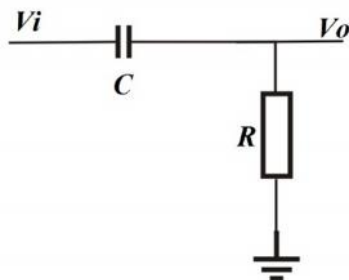
Filter

Frekuensi biopotensial mata berada pada rentang 0,1Hz sampai dengan 30Hz (Constable *et al.*, 2017). Sehingga frekuensi di luar rentang tersebut perlu diredam karena dapat mengakibatkan *noise*. Tapis lolos tinggi diperlukan untuk meredam frekuensi yang rendah dan meloloskan frekuensi yang tinggi yaitu di atas 0,1 Hz. Sedangkan tapis lolos rendah diperlukan untuk meredam frekuensi yang tinggi dan meloloskan frekuensi yang rendah yaitu di bawah 30 Hz. Frekuensi *cut-off* dari filter adalah :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (9)$$

Tapis Lolos Tinggi (High Pass Filter)

Tapis lolos tinggi merupakan suatu rangkaian yang akan melewati isyarat yang berada diatas frekuensi *cut-off* dan akan menahan isyarat yang berada dibawah frekuensi *cut-off*. Sinyal *input* dilewatkan pada rangkaian seri Kapasitor (C) dan Resistor (R). Rangkaian HPF ditunjukkan pada Gambar 12.

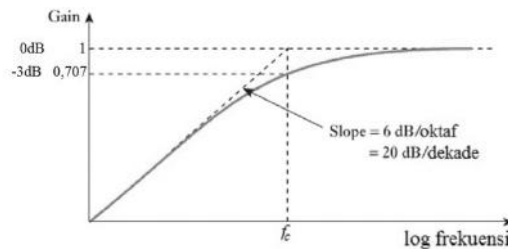


Gambar 12. Tapis Lolos Tinggi

Dari terjadi bagi tegangan antara C dan R. *Gain* dari rangkaian tapis lolos tinggi ini adalah

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{Z_R}{Z_R + Z_C} = \frac{R}{R - j \frac{1}{\omega C}} = \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega CR}} \quad (10)$$

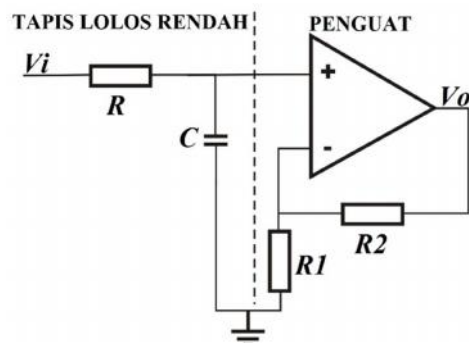
Pada saat frekuensi tinggi, maka ω sangatlah besar sehingga $j \frac{1}{\omega CR}$ sangat kecil dari 1, sehingga *gain* dari rangkaian akan mendekati 1. Sedangkan pada saat frekuensi rendah maka gain akan mengecil (Storey, 2009). Grafik respon *gain* dari frekuensi pada tapis lolos tinggi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 13. Respon *gain* tapis lolos tinggi

Tapis Lolos Rendah (Low Pass Filter)

Tapis lolos rendah yang digunakan adalah tapis aktif yang keluarannya akan tetap ketika diberi beban sehingga tidak mengurangi tegangan sebelumnya. Tapis lolos rendah yang akan digunakan adalah tapis lolos rendah butterworth. Filter *Butterworth* tersusun dari tapis lolos rendah pasif dan penguat operasional.



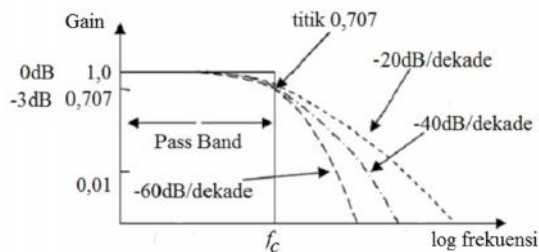
Gambar 14. Low Pass Filter Butterworth

Pada rangkaian tapis lolos rendah pasif terjadi bagi tegangan antara R dan C dan yang memasuki penguat adalah tegangan dari kapasitor. $Gain$ dari tegangan pada rangkaian *low pass filter* adalah

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} = \frac{-j \frac{1}{\omega C}}{R - j \frac{1}{\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega CR} \quad (11)$$

Pada saat frekuensi rendah, maka ω sangatlah kecil sehingga $j\omega CR$ sangat kecil dari 1, sehingga $gain$ dari rangkaian akan mendekati 1. Sedangkan pada saat frekuensi tinggi maka $gain$ akan mengecil (Storey, 2009).

Hasil tanggapan frekuensi filter butterworth ini datar pada daerah *passband* dan redaman yang meningkat secara monotonik pada *stopband*. Oleh karena itu, *low pass filter Butterworth* sering digunakan sebagai *anti aliasing filter* dalam aplikasi konverter data dimana tingkat sinyal yang tepat diperlukan di seluruh sinyal *passband*.



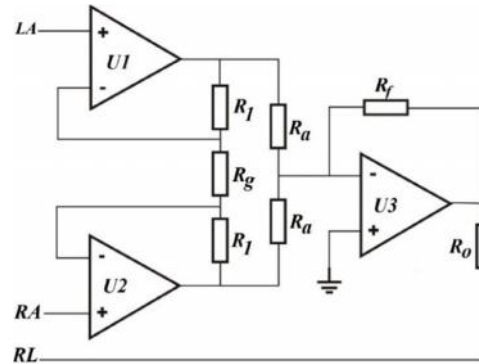
Gambar 15. Respon frekuensi LPF Butterworth

Gambar 15 menunjukkan respon ideal (garis solid) dan praktikal (garis putus-putus) frekuensi dari filter butterworth. Karakteristik dari sebuah Filter butterworth tidak didesain untuk menyimpan sudut fasa konstan pada frekuensi *cut-off*. pada frekuensi *cut-off* mengalami pelemahan sebesar -3dB dan frekuensi diatas frekuensi *cut-off* mengalami pelemahan menjadi -20dB/dekade/orde (Hidayat, 2012).

Driven Right Leg (DRL)

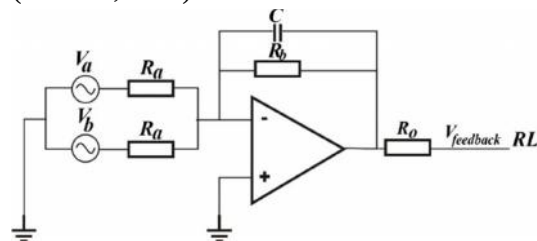
Rangkaian *Driven Right Leg* (DRL) merupakan rangkaian yang digunakan pada instrumen EKG untuk mengurangi *noise* yang berasal dari tubuh dan juga untuk sistem pengamanan pasien. Dinamai dengan *Driven Right Leg* karena elektroda yang

terhubung pada rangkaian ini adalah elektroda pada kaki kanan yang merupakan elektroda referensi pada EKG. Rangkaian ini juga dapat digunakan pada pengukuran EOG untuk memperoleh fungsi yang sama.



Gambar 16. Rangkaian Driven Right Leg

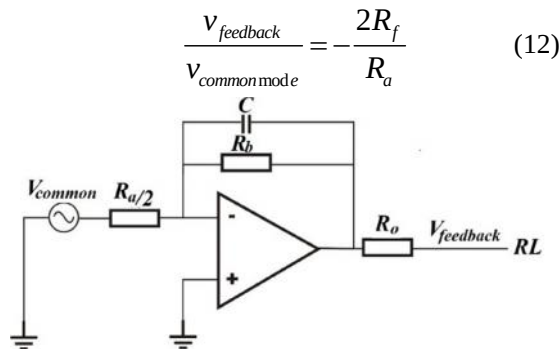
Elektroda kaki kanan terhubung pada keluaran Op-Amp. Tegangan *common-mode* pada tubuh dirasakan oleh rata-rata kedua resistor R_a , terbalik, diperkuat dan diumpankan kembali ke kaki kanan. Umpan negatif ini menjadikan tegangan *common-mode* bernilai rendah. Arus pada tubuh tidak mengalir ke ground melainkan ke keluaran Op-Amp. Hal tersebut berguna untuk mereduksi interferensi selama terhubung ke penguat biopotensial dan efektif meng-*ground*-kan pasien (Webster, 2009).



Gambar 17. Rangkaian Driven Right Leg dengan kapasitor

Pada gambar dapat memperkecil penguatan *common mode* pada rangkaian penguat biopotensial. Sinyal *common mode* dideteksi dan dikuatkan dengan faktor *feedback* dan diumpan balik negatif ke tubuh. Dengan faktor *feedback* yang besar, maka sinyal *common-mode* akan mengecil. Fungsi dari kapasitor C pada rangkaian adalah untuk mengurangi *noise* akibat frekuensi tinggi (Gunawan, 2011). Dengan prinsip thevenin maka, rangkaian Gambar 17 dapat diubah menjadi rangkaian Gambar 18 dengan

$V_{thevenin} = (V_a + V_b)/2$, $R_{thevenin} = R_a/2$ dan $R_f = Z_C/R_b$.
Sehingga

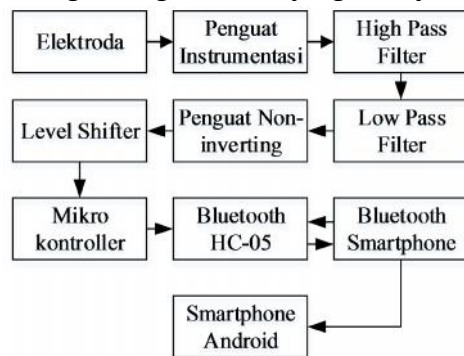


Gambar 18. Rangkaian ekuivalen driven right leg dengan Kapasitor

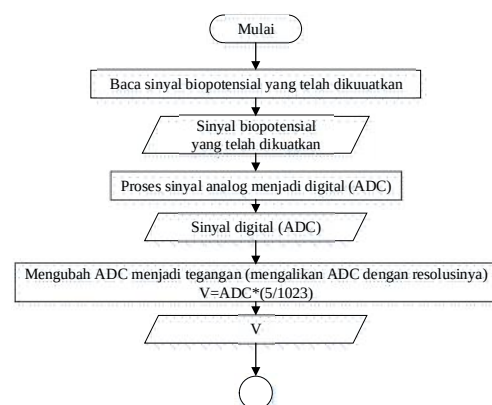
METODE

Perancangan dan Perangkaian Sistem

Pada tahap ini sistem dirancang dan dirangkai sesuai dengan diagram blok yang ditunjukkan



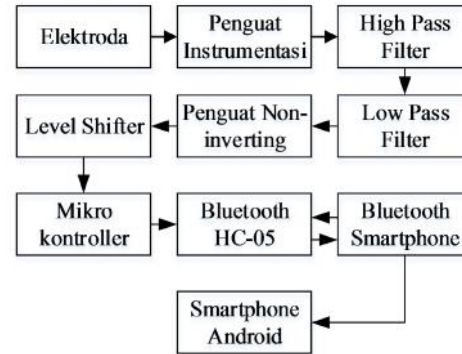
pada
Gambar 19.



Gambar 20. Diagram Alir Program Mikrokontroller

Pembuatan Aplikasi Android

Aplikasi android yang dibuat adalah aplikasi buku surah Yaasiin. Aplikasi dibuat dengan



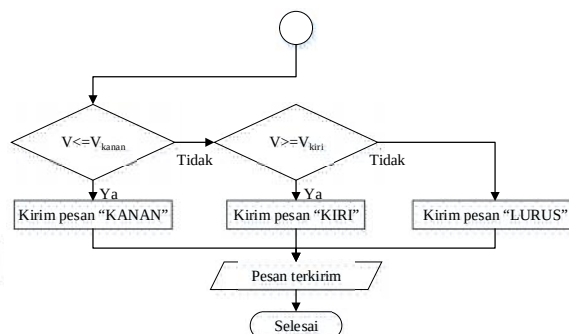
Gambar 19. Diagram blok Sistem

Pengambilan Data Tegangan

Tegangan yang diukur merupakan biopotensial mata yang telah melewati rangkaian pengkondisi sinyal. Data diambil pada mata lima orang subjek dengan menginstruksikan pergerakan matanya ke arah kanan dan kiri serta lurus secara berulang-ulang. Selanjutnya data dianalisis sehingga diperoleh nilai batas tegangan pergerakan mata ke kanan dan ke kiri yang selanjutnya dimasukkan ke dalam program pada arduino.

Pembuatan Program Mikrokontroller

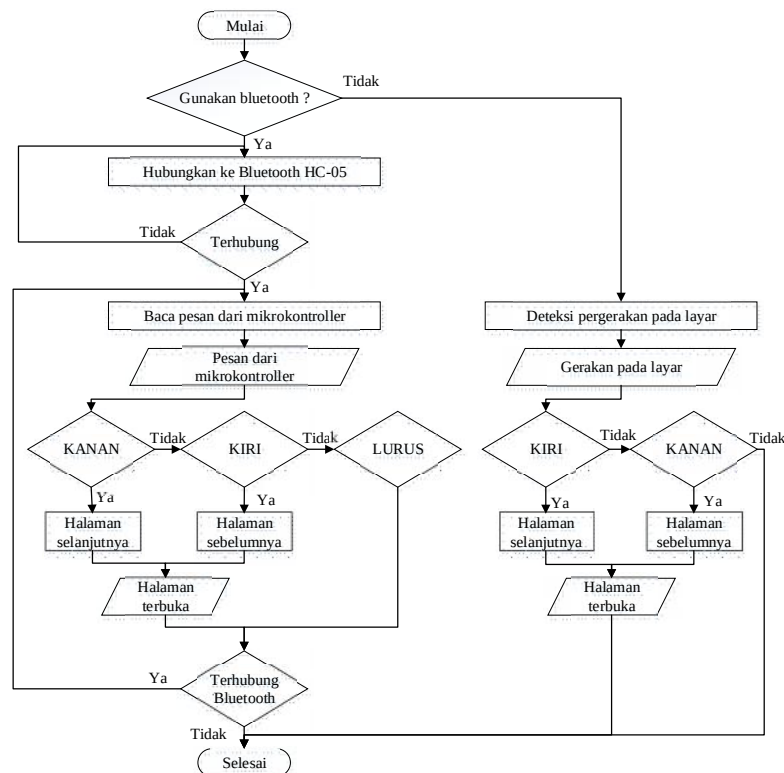
Program dibuat dengan menggunakan software Arduino IDE. Adapun diagram alir pemrograman tersebut ditunjukkan pada Gambar 20.



menggunakan App inventor 2. Pembuatan aplikasi dapat dilakukan secara online di <http://appinventor.mit.edu/>. Koneksi aplikasi

di-setting sebagai *Bluetooth client* dan dapat menerima pesan dari perangkat *Bluetooth* lainnya. Pesan yang diterima digunakan sebagai perintah untuk membuka halaman selanjutnya dan halaman sebelumnya. Selain itu, aplikasi ini dapat digunakan tanpa terhubung ke sistem

kontrol yaitu dengan cara menyapukan jari pada layar ke arah kiri untuk membuka halaman selanjutnya dan ke arah kanan untuk membuka halaman sebelumnya seperti membuka halaman buku. Adapun diagram alir pemrogramannya ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Diagram Alir Aplikasi Android

Pengujian Sistem

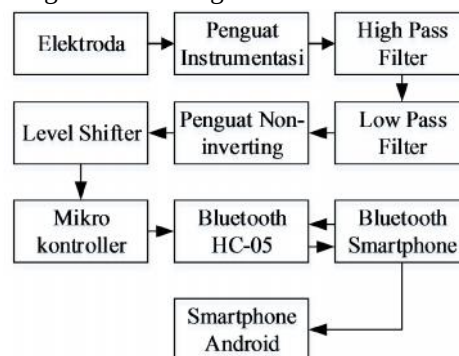
Tahap ini sistem telah selesai dirangkai dan siap untuk diuji. Pengujian dilakukan pada mata lima orang subjek dengan rangkaian yang sudah terhubung dengan android. Mata digerakkan ke kanan dan ke kiri dengan pengulangan 20 kali tiap gerakan tiap subjek. Respon yang terjadi pada aplikasi android dicatat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

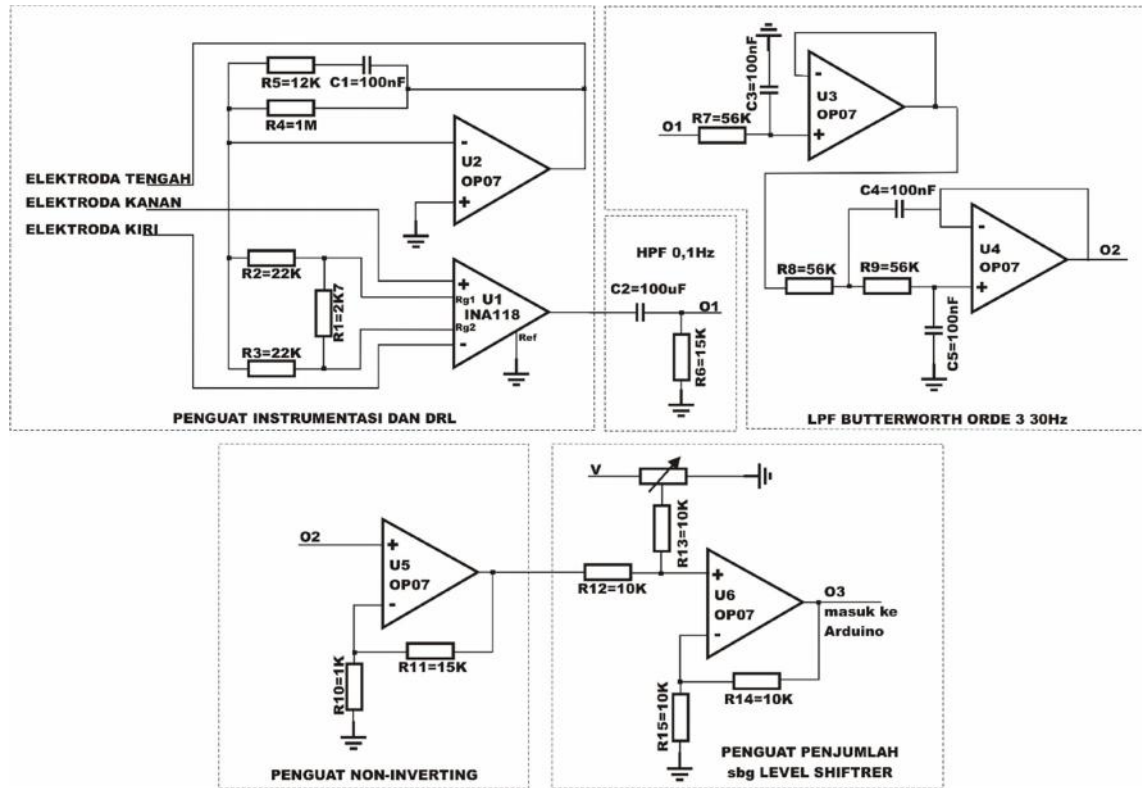
Perancangan dan Perangkaian Sistem

Tahap ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu perancangan sistem, pembuatan skema rangkaian, pemilihan komponen, pembuatan

layout PCB, *etching* PCB, pengeboran dan pemasangan komponen. Sistem dirancang sesuai dengan diagram blok pada



Gambar 19 dan selanjutnya pembuatan skema rangkaian untuk *input* hingga *level shifter* sebagai rangkaian pengkondisi sinyal seperti pada Gambar 22.



Gambar 22. Skema rangkaian pengkondisi sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal dirancang dengan penguatan penguat instrumentasi sebesar 20 kali dan elektroda referensi terhubung dengan rangkaian DRL. Filter HPF yang digunakan adalah filter pasif dengan frekuensi *cut-off* 0,1 Hz dan LPF dengan filter aktif tipe Butturwoth dengan topologi *sallen-key* Orde 3 dengan frekuensi *cut-off* 30Hz. Penguat *non-inverting* dirancang dengan penguatan 15 kali dan penguat penjumlah dengan penguatan 1 kali dengan tegangan tambahan sebesar 1V.

Rangkaian yang telah dirancang selanjutnya dibuat pada PCB. Pembuatan rangkaian pada PCB terdiri dari beberapa tahap diantaranya pembuatan layout PCB menggunakan *software sprint layout 6.0*. Selanjutnya *layout* diaplikasikan pada PCB dengan teknik gosok menggunakan *lotion* dan selanjutnya di-*etching* dengan menggunakan larutan FeCl_3 . PCB yang telah di-*etching* selanjutnya dibor dan komponen dipasang. Hasil rangkaian yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Rangkaian Pengkondisi sinyal



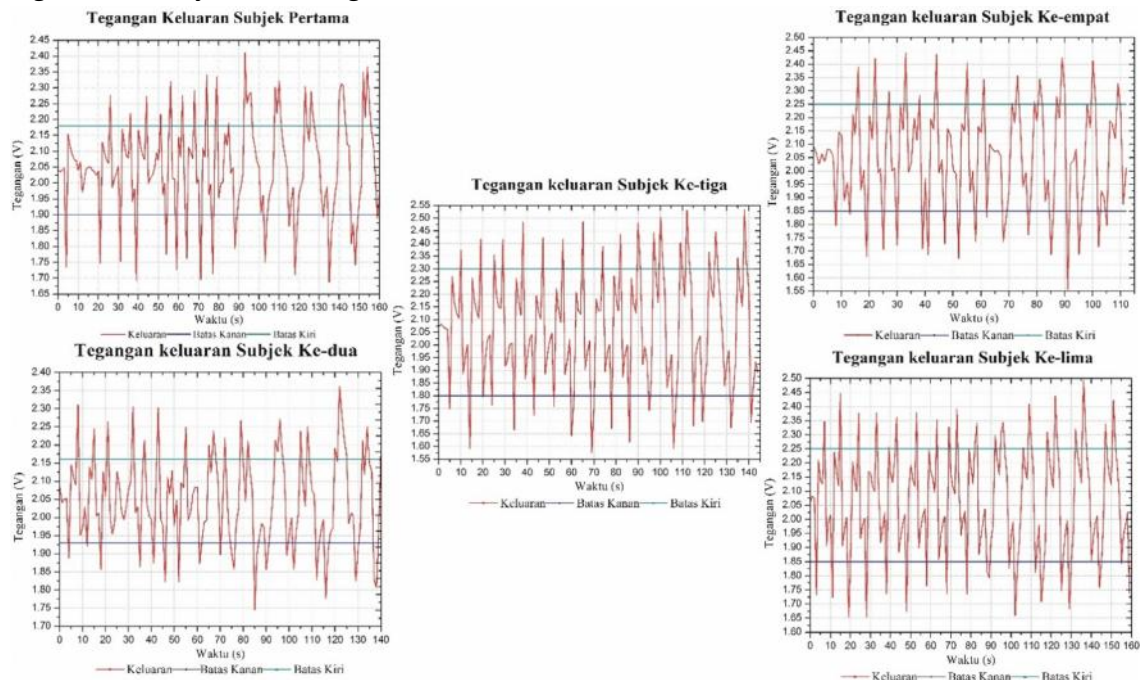
Gambar 24. Sistem Kontrol

Keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal selanjutnya akan diolah dengan menggunakan mikrokontroller arduino uno yang terhubung dengan pin pembacaan sinyal analog dan *ground*. Selanjutnya hasil pengolahan oleh mikrokontroller akan dikirim dengan menggunakan *Bluetooth* HC-05 yang memiliki tegangan kerja untuk pin RX sebesar 3,3V sehingga dibutuhkan rangkaian pembagi tegangan dari PIN TX arduino ke PIN RX *Bluetooth*. Dikarena PIN TX arduino memiliki tegangan sebesar 5V, maka dibutuhkan resistor sebesar 1K Ω dan 2K Ω untuk membagi tegangannya. Sistem Kontrol lengkap dapat dilihat pada Gambar 24.

Pengambilan Data Tegangan

Data yang diambil adalah tegangan yang berasal dari biopotensial mata telah melewati rangkaian pengkondisi sinyal. Biopotensial mata diukur dengan menggunakan NI USB-6009 dan direkam dengan menggunakan software *Data Logging and Monitoring*. Subjek penelitian yang digunakan sebanyak lima orang.

Tegangan keluaran yang telah melewati rangkaian pengkondisi sinyal dapat dilihat pada Gambar 25. Pada grafik, untuk puncak merupakan pergerakan mata kearah kiri dan lembah merupakan pergerakan mata ke kanan. Pengambilan data dilakukan dengan dua keadaan dimana saat pergerakan ke kanan dan ke kiri ditahan selama satu detik dan lima detik. Pada grafik, lima puncak dan lima lembah terakhir merupakan pergerakan mata yang ditahan selama lima detik. Dari rekaman data pengukuran melalui *software Data Logging and Monitoring* ditentukan waktu yang terbaik dalam pergerakan mata, dilihat dari nilai pergerakan mata apabila bergerak ke kiri maka nilai setelahnya tidak menunjukkan seperti bergerak ke arah kanan atau sebaliknya. Waktu pergerakan terbaik yang diperoleh adalah 0,98 detik. Sehingga pada grafik ditentukan batas pergerakan mata yang disesuaikan ketika ditahan selama satu detik. Batas pergerakan mata ditentukan secara visual dengan memperhatikan respon dari setiap pergerakan.



Gambar 25. Tegangan keluaran tiap subjek

Dari grafik pada Gambar 25 diperoleh batas-batas pergerakan mata untuk tiap subjek yang dapat dilihat pada

Tabel 1

Tabel 1. Batas pergerakan mata tiap subjek dalam satuan Volt

Subjek ke-	Batas Kanan	Batas Kiri
1	1,90	2,18
2	1,93	2,16
3	1,80	2,30
4	1,85	2,25
5	1,85	2,25
Rata-rata	1,87	2,23

Batas pergerakan mata rata-rata yang diperoleh dari setiap subjek untuk pergerakan mata ke kanan adalah $\leq 1,87V$ dan pergerakan ke kiri adalah $\geq 2,23V$. Nilai batas yang diperoleh ini selanjutnya digunakan pada pemrograman mikrokontroler arduino uno.

Pembuatan Program Mikrokontroler

Program yang dibuat dalam penelitian ini adalah program untuk mengirim pesan arah pergerakan mata melalui Bluetooth. Program dibuat menggunakan software arduino IDE dengan bahasa pemrograman C. Program ini menggunakan fungsi *if* untuk menentukan arah pergerakan mata dengan batas nilai yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya.

```
int Analogpin=A0; //pin yang digunakan
//untuk membaca sinyal analog
int adc=0; //variabel untuk pembacaan adc
float V=0; //variabel untuk mengubah nilai adc
//jadi tegangan
void setup() {
  Serial.begin(9600); //baudrate untuk bluetooth
}
```

Gambar 26. Inisiasi dan void setup program arduino

Bagian inisiasi program ini adalah pembacaan input analog yang berasal dari pin A0 pada arduino uno dan variabel *adc* dengan nilai awal 0 yang keduanya merupakan bilangan integer (bulat) serta variabel *V* dengan nilai awal 0 yang merupakan bilangan float (desimal). Selanjutnya pada void setup merupakan bagian yang akan dieksekusi sekali saja pada awal program berjalan, terdapat pengaturan *baudrate* untuk komunikasi serial. Pada program ini digunakan *baudrate* 9.600bps. Nilai ini merupakan nilai

standar pada komunikasi serial karena tidak terlalu lambat dan tidak terlalu cepat karena apabila terlalu cepat dapat mengakibatkan *noise*. Nilai *baudrate* ini harus sama dengan piranti yang akan dikomunikasikan seperti pada Bluetooth atau serial monitor dan serial plotter pada arduino IDE.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600); //baudrate untuk bluetooth
}

void loop() {
  adc = analogRead(Analogpin); //pembacaan adc
  V = adc*(5.00/1023.00); //adc dikali resolusi
//untuk menjadi tegangan
  if (V>2.23) { //tegangan batas untuk kiri
    Serial.print("KIRI");
  }
  else if (V<=1.87) { //tegangan batas untuk kanan
    Serial.print ("KANAN");
  }
  else {
    Serial.print("LURUS");
  }
  delay (1000);
}
```

Gambar 27. Void loop program arduino

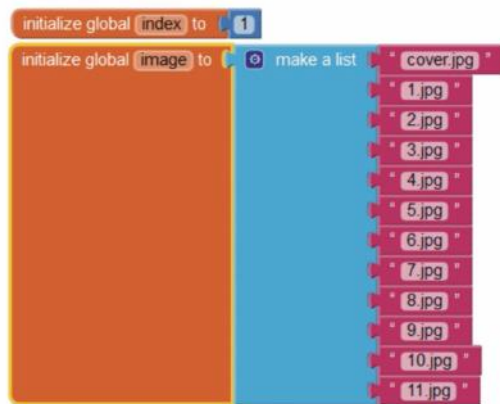
Bagian *void loop* merupakan bagian yang akan diulang terus menerus selama arduino menyala. Terdapat perintah pembacaan input analog yang disimpan pada variabel *adc*. Selanjutnya, nilai *adc* yang diperoleh diubah menjadi nilai tegangan dengan cara mengalikan nilai *adc* dengan resolusi adc 10 bit pada arduino dengan tegangan referensi 5V. Setelah diperoleh nilai tegangan, selanjutnya nilai tegangan tersebut dibandingkan dengan nilai batas arah pergerakan mata ke kanan atau ke kiri menggunakan fungsi logika *if*. Jika nilai pembacaan lebih dari 2,23V maka arduino akan mengirimkan pesan “KIRI” dan jika nilai pembacaan kurang dari 1,87V maka arduino akan mengirim pesan “KANAN” selain itu apabila nilai pembacaan bukan keduanya maka arduino akan mengirim pesan “LURUS”. Perulangan dilakukan dengan jeda atau *delay* selama 1000ms atau 1s.

Pembuatan Aplikasi Android

Aplikasi android yang dibuat adalah aplikasi buku surah Yaasiin. Aplikasi dibuat dengan menggunakan App inventor 2. Pembuatan aplikasi dilakukan secara online di <http://appinventor.mit.edu/>. Fungsi-fungsi pada App inventor 2 berupa blok-blok perintah

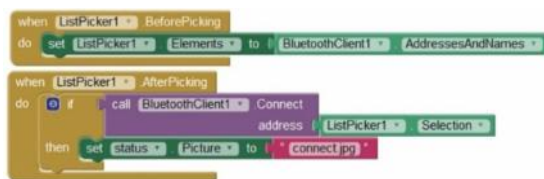
seperti *puzzle* sehingga memudahkan pengguna untuk membuat program karena apabila tidak sesuai atau bukan pasangannya tidak akan dapat terhubung.

Aplikasi surah Yaasiin pada penelitian ini dapat dikontrol dengan menggunakan sistem kontrol yang telah dibuat atau secara manual dengan menyapu layar ke kanan atau kiri tanpa koneksi *Bluetooth*. Sehingga aplikasi ini dapat digunakan oleh penyandang tunadaksa atau orang normal. Pada program ini terdapat beberapa bagian diantaranya blok inisiasi, blok untuk menghubungkan dengan *Bluetooth*, blok penerimaan pesan dan blok penggunaan aplikasi secara manual.



Gambar 28. Blok program inisiasi

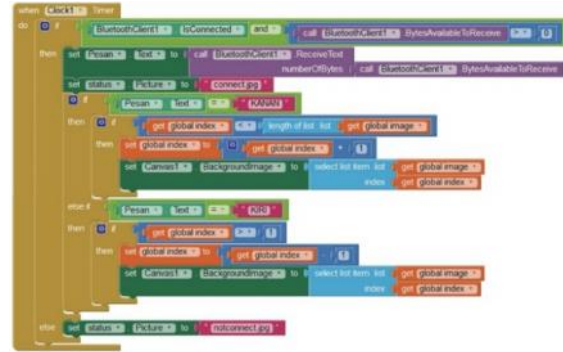
Blok pertama adalah blok inisiasi yang ditunjukkan pada Gambar 28. Pada blok ini diinisiasikan *global index* dan *global image*. Pada *global index* diinisiasikan dengan nilai satu dan selanjutnya *global index* dapat berubah bergantung dari keadaan pada blok selanjutnya. Pada *global image* diinisiasikan urutan atau daftar gambar dari halaman-halaman surah Yaasiin, terdapat *cover* dan isi dengan jumlah sebelas halaman.



Gambar 29. Blok program koneksi *Bluetooth*

Blok ke-dua merupakan blok program untuk koneksi *Bluetooth* yang ditunjukkan pada

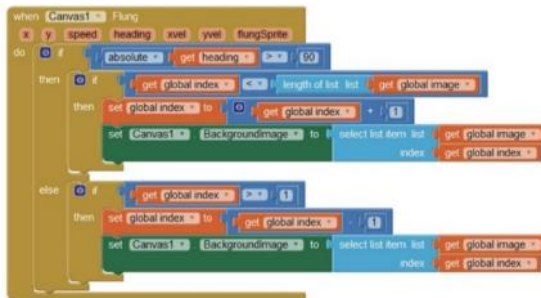
Gambar 29. Pada blok ini terdapat *ListPicker1* yaitu tombol yang selanjutnya akan menampilkan daftar piranti *Bluetooth* yang aktif disekitar *smartphone*. Pada *Before Picking* akan menampilkan *Bluetooth* yang aktif dan pada *after picking* yaitu setelah memilih piranti *Bluetooth*-nya maka *Bluetooth client* akan dihubungkan dengan piranti yang dipilih dan apabila terhubung maka gambar status koneksi akan berubah menjadi terhubung.



Gambar 30. Blok program penerimaan pesan *Bluetooth*

Blok ke-tiga adalah blok penerimaan pesan *Bluetooth* yang ditunjukkan pada Gambar 30. Pada blok ini menggunakan *clock timer*, *timer* ini berfungsi seperti *delay* yaitu untuk memberi jeda penerimaan pesan melalui *Bluetooth*, pada program ini digunakan *delay* satu detik karena pada program arduino menggunakan *delay* satu detik juga. Nilai *delay* program aplikasi android dengan program pengiriman pesan pada arduino harus sama agar pesan yang dikirim akan langsung diterima oleh aplikasi android. Jika *Bluetooth* terhubung dan jumlah bit yang diterima lebih besar dari 0 maka pesan yang diterima akan disimpan pada label “Pesan” dan status koneksi akan terhubung, jika tidak menerima pesan apapun maka status koneksi akan terputus. Pesan yang diterima selanjutnya akan dibandingkan dengan menggunakan fungsi logika *if*. Jika pesan yang diterima adalah “KANAN” maka akan dieksekusi fungsi logika *if* selanjutnya yaitu untuk mengubah gambar. Jika nilai *global index* kurang dari posisi gambar pada *global image* maka nilai *global index* akan ditambahkan satu dan *background* gambar pada *canvas1* akan diubah menjadi posisi *global image* sesuai nilai *global index* pada saat ini. Jika

pesan yang diterima adalah “KIRI”, maka jika *global index* lebih besar dari satu maka nilai *global index* akan dikurangi satu dan *background canvas1* akan diubah menjadi posisi *global image* sesuai nilai *global index* pada saat ini.



Gambar 31. Blok program penggunaan aplikasi secara manual

Blok ke-empat adalah blok yang berfungsi untuk menjalankan aplikasi tanpa koneksi *Bluetooth* atau tidak menggunakan biopotensial mata. Blok program ditunjukkan pada Gambar 31. Blok ini digunakan untuk pengguna aplikasi yang merupakan orang normal atau tidak memiliki sistem kontrol. Blok ini memungkinkan pengguna hanya dengan menyapukan jarinya pada layar ke arah kiri atau kanan untuk mengganti halaman. Ketika *canvas1* disapu dengan jari dan jika besar sudut absolut yang terbentuk dari titik pertama jari menyentuh layar dan titik akhir membentuk sudut lebih dari 90° atau disapukan ke arah kiri, maka jika nilai *global index* kurang dari posisi gambar pada *global image* maka nilai *global index* akan ditambahkan satu dan *background* gambar pada *canvas1* akan diubah menjadi posisi *global image* sesuai nilai *global index* pada saat ini. Selain itu, jika nilai *global index* kurang dari posisi gambar pada *global image* maka nilai *global index* akan ditambahkan satu dan *background* gambar pada *canvas1* akan diubah menjadi posisi *global image* sesuai nilai *global index* pada saat ini.

Pengujian Sistem

Setelah sistem kontrol dirangkai dan batas pergerakan mata ke kiri dan kanan telah dimasukkan kedalam mikrokontroler,

selanjutnya sistem diuji dengan menghubungkan smartphone android dengan aplikasi surah Yaasiin yang telah di-*install* terlebih dahulu. Sistem diuji pada lima subjek dengan menginstruksikan subjek menggerakkan mata ke kiri dan ke kanan. Respon sistem dilihat pada aplikasi Surah Yaasiin yang telah di-*install* pada smartphone android. Ketika mata bergerak ke kanan maka aplikasi surah Yaasiin akan membuka halaman selanjutnya dan apabila mata bergerak ke kiri maka aplikasi surah Yaasiin akan membuka halaman sebelumnya. Pergerakan mata ke kanan dan ke kiri dilakukan sebanyak 20 kali untuk memperoleh nilai akurasi dan nilai error. Akurasi merupakan ketepatan sistem dalam menampilkan respon sesuai dengan instruksi, sedangkan error merupakan kesalahan dimana respon tidak sesuai dengan instruksi. Nilai akurasi dan error dari setiap subjek dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Akurasi dan error sistem kontrol

Subjek	Kanan		Kiri	
	Akurasi	Error	Akurasi	Error
1	100%	0%	75%	25%
2	80%	20%	90%	10%
3	75%	25%	90%	10%
4	75%	25%	95%	5%
5	90%	10%	80%	20%
Rata-rata	84%	16%	86%	14%

Dari hasil pengujian yang diperoleh nilai rata-rata akurasi untuk pergerakan mata ke kanan sebesar 84% dan ke kiri sebesar 86%, sedangkan nilai rata-rata error untuk pergerakan mata ke kanan sebesar 16% dan ke kiri sebesar 14%. Error dapat terjadi karena waktu pergerakan mata dapat berbeda-beda sehingga tegangan yang dihasilkan tidak sesuai dengan nilai batas yang ditetapkan. Waktu pergerakan mata yang ditahan terlalu lama dapat mengakibatkan respon seperti bergerak ke arah sebaliknya atau dalam aplikasi ditandai dengan aplikasi membuka halaman selanjutnya tetapi ketika lurus akan kembali ke halaman sebelumnya sehingga halaman yang ditampilkan tetap seperti halaman sebelum melakukan gerakan mata atau justru menampilkan halaman sebelumnya. Apabila

waktu pergerakan yang terlalu singkat maka tegangan yang dihasilkan tidak sampai pada batas pergerakan mata sehingga pada aplikasi tidak menunjukkan respon apa-apa.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sistem kontrol berbasis biopotensial mata untuk mengontrol aplikasi surah Yaasiin berbasis Android telah berhasil dirancang dan dibangun. Komponen yang digunakan adalah elektroda Ag/AgCl, pengkondisi sinyal berupa penguat instrumentasi, *Driven Right Leg* (DRL), *High Pass Filter*, *Low Pass Filter*, penguat *non-inverting* dan penguat penjumlah yang selanjutnya diproses menggunakan Arduino Uno dan dikirim ke *smartphone* Android dengan koneksi *Bluetooth*. Dari pengujian sistem diperoleh akurasi rata-rata ke kanan sebesar 84%, ke kiri sebesar 86% dan error rata-rata ke kanan sebesar 16%, ke kiri sebesar 14%.

Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Memperhatikan kondisi kesehatan mata subjek penelitian.
2. Memvariasikan subjek untuk berbagai usia dengan rentang usia yang berjauhan.
3. Memperhatikan sudut pergerakan mata.
4. Menambah *channel* untuk pergerakan mata ke atas dan ke bawah.
5. Menggunakan program dengan logika seperti rangkaian flip-flop untuk meningkatkan nilai akurasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bentley, J. P. (2005). *Principles Of Measurement Systems*. England: Pearson Education.
- Cleveland Medical Device Inc. (2006). *Biopotential Basics Student*. Retrieved Desember 7, 2016, from Great Lakes Neurotechnologies: https://glneurotech.com/docrepo/teaching-labs/BioPotential_Basics_Student.pdf
- Constable, P. A., Bach, M., Frishman, L. J., Jefferey, B. G., & Robson, A. G. (2017, Januari 1). ISCEV Standard for clinical electro-oculography (2017 update). *ISCEV STANDARDS*, 1-9. doi:10.1007/s10633-017-9573-2
- Fleury, A., Sugar, m., & Chau, T. (2015, Februari 25). E-textiles in Clinical Rehabilitation: A Scoping Review. (W. Scanlon, A. Alomainy, & N. Timmons, Eds.) *Electronics*, 4, 173-203.
- Gunawan, H. (2011). Alat Untuk Memperagakan Irama Denyut Jantung Sebagai Bunyi dan Pengukur Kecepatan Denyut Jantung Melalui Elektroda pada Telapak Tangan. *Electrical Engineering Journal*, 2, 45-65.
- Hadiyoso, S., & Rizal, A. (2015). *Instrumentasi Biomedis Berbasis PC*. Yogyakarta: Gava Media.
- Hidayat, W. S. (2012). Kinerja Butterworth Low-Pass Filter pada Teknik Modulasi Digital ASK Terhadap Paket Data yang dipengaruhi oleh Derau. *InComTech*, 3(2), 169-183.
- Namdev, K., & Siddiqui, M. M. (2015, Februari). Different Types Of Electrical Signals Produced By Human Body. *International Journal of Advance Research In Science And Engineering*, 4(2), 232-239.
- Storey, N. (2009). *Electronics : A Systems Approach* (4th ed.). England: Pearson Education Limited.
- Suryanto. (2007, Nopember 20). Kalibrasi Elektroda Referensi. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Rekayasa Perangkat Nuklir*, 35-44.
- Webster, J. G. (2009). *Medical Instrumentation : Application And Design* (4th ed.). USA: John Wiley & Sons, Inc.

Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Struktur dan Sifat Magnetik Ni^{2+} - Barium Ferit sebagai Penyerap Gelombang Mikro

Muhammad Iqbal Ramadhan*, Wahyu Widanarto, Sunardi

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jenderal Soedirman

Jl. Dr. Soeparno Karangwangkal, Purwokerto

Corresponding Author: Iqbalramadhan9970@yahoo.com

Abstrak – Barium ferit yang di doping Ni^{2+} konsentrasi 0,7 mol dengan variasi temperatur sintering 450°C (hanya pre-sintering), 600°C, 700 °C, dan 800°C telah dibuat menggunakan metode modified solid state reaction. Sampel dianalisis fasa kristal, ukuran kristal, sifat magnetik dan penyerapan gelombang mikronya. metode modified solid state reaction merupakan perpaduan antara metode sol-gel dan solid state reaction, yang meliputi pembuatan larutan prekursor awal, sol-gel, pemadatan, pre- sintering dan sintering. Sampel yang telah dibuat selanjutnya dikarakterisasi dengan alat X-Ray Diffraction (XRD), Vibrating Sample Magnetometer (VSM) dan Vector Network Analyzer (VNA). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa semua sampel yang telah disintesis mengandung dua fasa yaitu BaFe_2O_4 dan NiFe_2O_4 . Kurva histeresis menunjukkan bahwa semua sampel merupakan material superparamagnetik. Material penyerap gelombang mikro yang baik memiliki refleksi hilang yang tinggi dan bandwidth yang lebar. Pada temperatur 700°C menunjukkan hasil terbaik dengan rentang frekuensi penyerapan terbanyak pada frekuensi 8,14 GHz – 8,54 GHz; 9,88 GHz–10,88 GHz; 11,70 GHz – 12,00 GHz dan memiliki penyerapan yang paling tinggi dibandingkan dengan ketiga sampel lainnya yakni pada frekuensi 8,30 GHz sebesar -27,30 dB. Berdasarkan hasil yang diperoleh bahwa variasi temperatur sintering telah berpengaruh pada fasa kristal, ukuran kristal, sifat magnetik, dan penyerapan gelombang mikronya. Dengan demikian Ni- Barium Ferit sangat berpotensi sebagai material absorpsi gelombang mikro.

Kata kunci: Barium Ferit, Nikel, Modified Solid State Reaction, Gelombang mikro

Abstract – Barium ferrite doped Ni^{2+} concentrations of 0,7 mol with sintering temperature variations is 450°C (pre-sintering only), 600°C, 700°C, and 800°C have been made with modified solid state reaction method. Samples were analyzed crystal phase, crystal size, magnetic properties and microwave absorption. The modified solid state reaction method is a combination of sol-gel and solid state reaction methods, first preparing initial precursor solutions, sol-gel, compaction, pre-sintering and finally sintering. The samples were characterized by X-Ray Diffraction (XRD), Vibrating Sample Magnetometer (VSM) and Vector Network Analyzer (VNA). The characterization results show that all samples that have been synthesized contain two phases namely BaFe_2O_4 and NiFe_2O_4 . The hysteresis curve shows that all samples are superparamagnetic materials. Good microwave absorbent material has a high reflection loss and a wide bandwidth. At 700°C show the best results with a the greatest number of distance in frequency 8,14 GHz – 8,54 GHz; 9,88 GHz – 10,88 GHz; 11,70 GHz – 12,00 GHz and have a best absorbent than other sample in a frequency 8,30 GHz a number of -27,30 dB. Based on the results obtained that sintering temperature variations have influenced the crystalline phase, crystal size, magnetic properties, and microwave absorption. Thus Ni- Barium Ferrite is highly potential as a microwave absorbent material.

Keywords: Barium Ferrite, Nickel, Modified Solid State Reaction, Microwave

PENDAHULUAN

Dewasa ini kecanggihan teknologi komunikasi sangat berkembang pesat. Banyaknya perangkat komunikasi menyebabkan meningkatnya sumber radiasi berupa paparan gelombang mikro, sehingga alat elektronik dengan bahan yang tidak mampu menyerap paparan gelombang mikro akan mudah mengalami

gangguan sistem. Untuk mengatasi kendala ini, dibutuhkan bahan yang mampu meredam gelombang elektromagnetik. Teknologi penyerapan gelombang elektromagnetik merupakan teknologi yang sedang dikembangkan, yang telah melahirkan sebuah material baru yaitu *Radar Absorbing Material* (RAM), yang salah satu aplikasi pada bidang militer. Material ini bersifat meredam

pantulan gelombang mikro sehingga benda yang dilapisi dengan RAM tidak terdeteksi oleh RADAR. RAM telah dibuat dalam berbagai bentuk dalam nanomaterial [1]. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa pemanfaatan mineral berupa pasir besi sebagai penyerap gelombang mikro Pasir besi yang teroksidasi seperti mempunyai permitivitas dan permeabilitas yang sangat tinggi. Bahan Fe_3O_4 bersifat ferrimagnetik yang dalam keadaan murni nilai magnetisasi jenuhnya dapat mencapai 65 emu/g [2]. Dalam memanfaatkan potensi alam tersebut, maka dibuat magnet permanen *Barium M-Hexaferit* (BaM). Magnet permanen (BaM) memiliki beberapa keunggulan antara lain, nilai koersivitas (H_c) dan saturasi magnet (M_s) tinggi, serta suhu transisi (T_c = suhu Curie) cukup tinggi [3]. Penelitian sebelumnya menjelaskan sintesis dari *barium M-hexaferrite* menunjukkan bahwa adanya efek terhadap perubahan temperatur dan substitusi dopan. Pada pembentukan fasa dari *barium M-hexaferrite* ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Ni}_x\text{O}_{19}$) seiring dengan meningkatnya temperatur kalsinasi yang digunakan, diperoleh puncak yang muncul semakin sedikit dan akan terbentuk fasa tunggal pada temperatur *sintering* 800°C dan variasi dopan $x = 0,7$ [4]

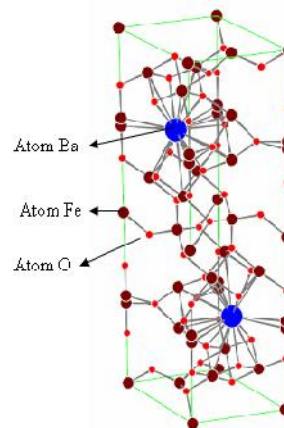
LANDASAN TEORI

A. Pasir Besi

Pasir besi sebagai salah satu bahan baku utama dalam industri baja dan industri alat berat lainnya di Indonesia, keberadaannya akhir-akhir ini memiliki peranan yang sangat penting. Berdasarkan kejadiannya endapan besi dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis. Pertama endapan besi primer, terjadi karena proses hidrotermal, kedua endapan besi laterit terbentuk akibat proses pelapukan, dan ketiga endapan pasir besi terbentuk karena proses rombakan dan sedimentasi secara kimia dan fisika [5]. Pada penelitian sebelumnya, Widanarto menemukan bahwa pasir di Desa Widarapayung Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap mengandung 70% Fe_3O_4 . [6]

B. Magnet Barium Ferit

Magnet barium ferit mulai dikembangkan pada awal tahun 1960, Magnet ini termasuk klasifikasi material keramik magnet keras yang memiliki struktur hexagonal ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) Dalam beberapa tahun terakhir, heksagonal ferit telah banyak diaplikasikan, seperti magnet permanen, telekomunikasi, *magneto-optical*, media penyimpan data, dan *electromagnetic shielding fields*. Namun, medan koersivitas (H_c) terlalu tinggi untuk beberapa aplikasi baru. Untuk mengatasi masalah ini, ion besi dalam fasa-M bisa disubstitusi dengan kation logam lain yang ukurannya hampir sama (misalnya Al^{3+} , Ga^{3+} , Co^{2+} , Ti^{4+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}). Sebagian besar, substitusi berlangsung secara serentak mengakibatkan penurunan medan koersivitas dan magnetisasi saturasi [7].



Gambar 2.1 Struktur Kristal Magnet Barium Hexaferit [8]

Barium heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) merupakan salah satu magnet permanen dengan struktur heksagonal yang sesuai dengan space group $P6_3/mmc$ [9]. Struktur kristal barium heksaferit terlihat pada **gambar 2.1**.

c) Nikel

Nikel dikenal sebagai salah satu komoditas tambang yang cukup besar potensinya di Indonesia. Sumber daya nikel di Indonesia sebagian besar berupa bijih nikel laterit (nikel oksida). Sampai saat ini Indonesia masih mengeksport nikel dalam bentuk bahan mentah. Dalam dunia industri, nikel digunakan sebagai bahan paduan baja tahan karat (*stainless steel*),

konduktor dan paduan-paduan logam lainnya [10]. Nanopartikel NiFe_2O_4 menampilkan kurva histeresis yang sempit, sehingga material ini dapat dianggap sebagai bahan inti yang baik untuk transformator daya dan aplikasi pada bidang telekomunikasi. Selain itu, material ini juga dapat digunakan pada teknologi sensor gas dan kelembaban, serta sebagai bahan katalis [11]

METODE

a) Proses pembuatan Fe_3O_4

Proses pembuatan Fe_3O_4 terdiri dari dua tahap yaitu penyaringan dan penggerusan. Penyaringan pasir besi merupakan pengambilan pasir besi dari bahan nonmagnetik dengan magnet permanen 6000 Gauss kemudian diayak menggunakan saringan secara berulang-ulang untuk memperoleh pasir besi yang murni.

b) Pembuatan larutan besi nitrat

Besi nitrat ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$) merupakan bahan mentah dalam pembuatan larutan bahan awal. Besi nitrat diperoleh dengan melarutkan serbuk Fe_3O_4 dalam larutan asam nitrat (HNO_3). Kemudian ditambahkan asam oksalat ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) dalam larutan besi nitrat yang berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi dalam proses pengentalan.

c) Pembuatan larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$

Pembuatan larutan nikel nitrat dilakukan dengan cara mencampurkan bahan nikel oksida (NiO), asam nitrat (HNO_3) sesuai dengan perhitungan stoikiometri.

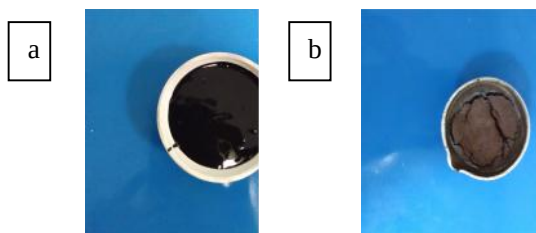
d) Pencampuran bahan

mencampurkan semua bahan yang telah ditimbang sesuai perhitungan stoikiometri, yaitu besi nitrat ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$), barium nitrat ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) dan nikel nitrat $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama ± 10 menit.

e) Sintesis Nikel Barium Ferit

Larutan bahan awal yang telah dipersiapkan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada temperatur 100°C . *Sol* terbentuk dengan menambahkan *polyethylene glycol* (PEG) sebanyak 48 ml dalam larutan bahan awal secara berangsur-angsur menggunakan

pipet hingga menjadi *sol* yang homogen dan bersih. *Sol* yang telah didinginkan kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam, pembentukan *gel* dimulai setelah ditambahkan etanol sebanyak 20 ml secara berangsur-angsur. *Gel* kemudian dipanaskan pada temperatur 150°C selama 2 jam tanpa pengadukan untuk mengurangi kandungan air dalam *gel*. Setelah itu, *gel* didiamkan satu malam pada temperatur ruang untuk meningkatkan ketebalan *gel* sehingga terbentuk *gel* pekat. *Gel* pekat kemudian didididitaskan pada cawan khusus untuk dikalsinasi menggunakan *muffle furnace* pada temperatur 350°C selama 2 jam. *Gel* pekat dan hasil kalsinasi ditunjukkan **gambar 2.1**



Gambar 2.1 a. Gel Pekat b. hasil kalsinasi

f) Proses Pemadatan

Serbuk nikel barium ferit yang telah terbentuk selanjutnya dilakukan proses pemadatan. Proses ini menggunakan alat press mekanik dengan berat beban sebesar 1 ton yang dipengaruhi medan magnetik luar untuk menyearahkan arah kristal magnet penyusunnya. Serbuk tersebut dimasukkan ke dalam cetakan kemudian diperoleh bentuk material pelet.

g) Proses Pre-Sintering dan Sintering

Pre-sintering dilakukan pada pelet yang telah dibuat dengan suhu 450°C selama 5 jam yang bertujuan untuk menguatkan material dan mencegah penyusutan bahan pada proses *sintering* [12]. *Sintering* adalah pengikatan massa partikel pada serbuk oleh interaksi antar molekul atau atom melalui perlakuan panas dengan temperatur *sintering* mendekati titik leburnya sehingga terjadi pemadatan. Faktor-faktor yang menentukan proses dan mekanisme *sintering* antara lain jenis bahan, komposisi, bahan dan ukuran partikel [13]. Pada penelitian

ini dilakukan variasi temperatur *sintering* dilakukan proses *sintering* selama 5 jam dengan dilakukan variasi suhu seperti yang terdapat pada **tabel 3.1**

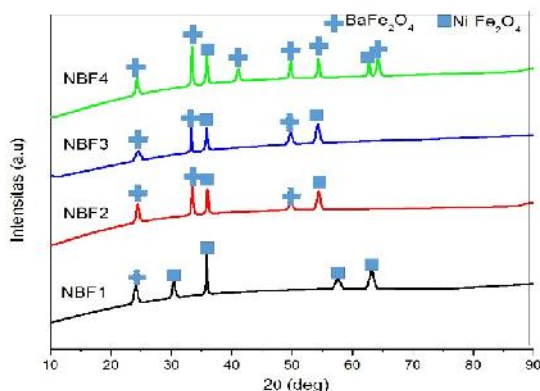
Tabel 3.1

KODE	X(mol)	Pre-Sin Waktu	Sin Waktu
NBF1		450 °C	-
NBF2		450 °C	600 °C 5 Jam
NBF3	0,7	450 °C Jam	700 °C 5 Jam
NBF4		450 °C	800 °C 5 Jam

HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Karakterisasi XRD

Karakterisasi *X-ray Diffraction (XRD)* digunakan dalam mengidentifikasi fasa, sistem kristal dan ukuran kristal dari material Nikel Barium Ferit (NBF). Hasil data XRD yang diperoleh berupa puncak-puncak pola difraksi. Berdasarkan puncak-puncak yang muncul dari pola difraksi setiap variasi temperatur *sintering* terlihat berbeda pada intensitas serta posisi puncak terhadap sudut 2θ . Hasil pengolahan pola difraksi ditunjukkan pada **Gambar 4.1** yang terlihat bahwa keempat sampel memiliki kandungan dua fasa.

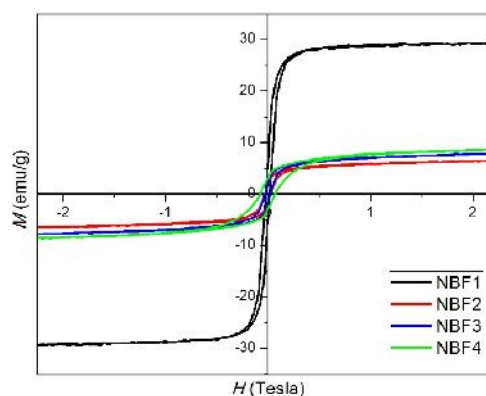


Pengaruh variasi temperatur *sintering* ternyata tidak hanya berpengaruh pada fasa kristal yang terbentuk tetapi juga terhadap ukuran kristalnya. Berdasarkan pola difraksi XRD pada NBF1, NBF2, NBF3, NBF4 diperoleh 2 fasa kristal yang sama yaitu BaFe_2O_4 dan NiFe_2O_4 dengan puncak terbanyak yaitu 8 puncak pada NBF4 dan 5 puncak pada NBF1-NBF3. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa belum terbentuknya

fasa Barium ferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) secara dominan, dikarenakan fasa ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) akan terbentuk secara dominan pada temperatur *sintering* 1000°C [14]. Dalam penelitian ini, temperatur *sintering* tertinggi hanya mencapai 800°C. Berdasarkan hasil grafik ukuran kristal, terlihat hasil yang fluktuatif dengan kenaikan drastis pada temperatur 600°C, kemudian menurun pada temperatur 700°, dan naik lagi pada temperatur 800°C.

b) Karakterisasi VSM

Karakterisasi *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* digunakan dalam menentukan besaran-besaran sifat magnetik bahan berupa nilai magnetisasi remanen (M_r), magnetisasi saturasi (M_s) dan medan koersivitas (H_c). Magnetisasi remanen merupakan induksi magnet yang tertinggal dalam bahan setelah medan magnet luar dihilangkan. Medan koersivitas adalah medan yang diperlukan untuk menghilangkan magnetisasi remanen. Sedangkan magnetisasi saturasi adalah keadaan dimana spin-spin magnet dalam bahan sudah searah dengan medan magnet luar [15]. Hasil data VSM berupa kurva histeresis yang menggambarkan hubungan medan magnet luar H dan magnetisasi M . Berdasarkan hasil karakterisasi VSM diperoleh kurva histeresis ditunjukkan pada **Gambar 4.2**

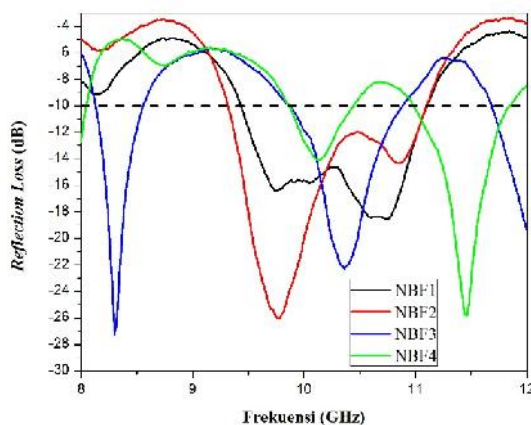


Berdasarkan hasil perhitungan, didapat Sampel NBF dengan nilai suseptibilitas yang kecil dan positif, yang menandakan bahwa material NBF merupakan material yang bersifat superparamagnetik. Dari keempat sampel NBF, terlihat semua bersifat *soft magnetic*,

dikarenakan memiliki nilai koersivitas yang kecil. Sampel NBF1 dengan temperatur *pre-sintering* / tanpa *sintering*, memiliki nilai saturasi yang paling besar yaitu 22,86 emu/g. Sedangkan nilai koersivitas tertinggi terdapat pada sampel NBF4 dengan temperatur *sintering* 800°C. Nilai suseptibilitas dan permeabilitas terbesar ada pada sampel NBF1 (tanpa *sintering*) sebesar $12,823 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, dan $1,0000128 \text{ m}^3/\text{kg}$. Berdasarkan hasil yang diperoleh, meningkatnya nilai magnetisasi saturasi (M_s), suseptibilitas (X_m), dan nilai permeabilitas (μ_r) pada temperatur *sintering* 600°C - 800°C.

c) Karakterisasi VNA

Karakterisasi *Vector Network Analyzer* (VNA) digunakan untuk menganalisis nilai *reflection loss* (R_L) yaitu besarnya penyerapan bahan terhadap gelombang mikro. Pengukuran nilai R_L menggunakan metode TRL (*Transmission/Reflection Line*) pada frekuensi 8 GHz-12 GHz (X band). Nilai R_L tersebut kemudian diolah sehingga diperoleh grafik *reflection loss* sebagai fungsi frekuensi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**



Pengaruh temperatur *sintering* menyebabkan adanya variasi pada serapan gelombang mikro dan lebar pita frekuensi keempat sampel NBF. Dari keempat sampel NBF, sampel NBF3 mempunyai rentang penyerapan yang paling banyak, yaitu pada rentang 8,14 GHz – 8,54 GHz; 9,88 GHz – 10,88 GHz; 11,70 GHz – 12,00 GHz dan memiliki nilai serapan paling tinggi dibanding sampel lainnya yaitu pada frekuensi 8,30 GHz sebesar -27,3 dB, namun

material penyerap gelombang mikro yang baik tidak hanya mempunyai R_L yang tinggi, namun juga harus memiliki pita frekuensi yang besar. Berdasarkan hasil yang diperoleh, sampel NBF3 memiliki nilai R_L yang paling tinggi dan rentang pita frekuensi yang paling banyak. Dari hasil yang diperoleh, perubahan temperatur *sintering* berpengaruh terhadap pergeseran puncak penyerapan pada frekuensi tertentu.

KESIMPULAN

1. Bahan magnet Ni- Barium ferit dengan variasi temperatur NBF: temperatur *pre-sintering* 450°C (tanpa *sintering*), 600°C, 700°C, dan 800°C telah dibuat menggunakan metode *modified solid state reaction*.
2. Pada semua sampel (NBF) menghasilkan 2 fasa BaFe_2O_4 dan NiFe_2O_4 serta merupakan bahan yang bersifat superparamagnetik dan *soft magnetic* dengan meningkatnya nilai magnetisasi saturasi (M_s), suseptibilitas (X_m), dan nilai permeabilitas (μ_r) pada temperatur *sintering* 600°C - 800°C.
3. NBF3 mempunyai rentang penyerapan yang paling banyak, yaitu pada rentang 8,14 GHz – 8,54 GHz; 9,88 GHz – 10,88 GHz; 11,70 GHz – 12,00 GHz dan memiliki penyerapan yang paling tinggi dibandingkan dengan ketiga sampel lainnya yakni pada frekuensi 8,30 GHz sebesar -27,30 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yani Nasution, E.L., Astuti. 2012. *Sintesis Nanokomposit PAni/ Fe_3O_4 Sebagai Penyerap Pada Gelombang Mikro*. Jurnal Fisika Unand Vol. 1, No. 1
- [2] Erika, & Astuti. 2012. *Sintesis Nanokomposit PAni/ Fe_3O_4 Sebagai Penyerap Magnetik Pada Gelombang Mikro*. Sumatera Barat: Jurnal Fisika UNAND.
- [3] Kojima, H. 1982. *Fundamental Properties Of Hexagonal Ferrites with*

- Magnetoplumbite*. Amsterdam: North Holland Publishing Company
- [4] Susilawati, Munib, Doyan. A. 2015. Pengaruh Temperatur kalsinasi Dan Substitusi Logam Nikel Pada Pembentukan Fasa Barium M-Heksferit ($\text{BaFe}_{12}\text{xNi}_x\text{O}_{19}$) Menggunakan FTIR. Universitas Mataram: Program Studi Magister Pendidikan IPA Program Pascasarjana.
- [5] Widi, B. N. 2005. Laporan Hasil Penelitian Tinjau Endapan Pasir Besi di Kabupaten Sikka. Nusa Tenggara Timur: PT. Ever Mining
- [6] Widanarto, W., M.R Sahar, S.K Ghosal, R Arifin, M.S Rohani, ja K Hamzah. Effect Of Natural Fe_3O_4 Nanoparticles on Structural and Optical Properties of Er^{3+} Doped Tellurite Glass. *J.Magn.Magn Mater.*326, 2013:pp.123-128.
- [7] Rosler, W. L. 2003. Synthesis and Characterization of Hexagonal ferrites $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Zn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ ($0 < x < 2$) by thermal Decomposition of Freeze-dried Precursors. *Cryst Res Technol*, 499-503.
- [8] Moulson, A., & Helbert, J. 2003. *Electronics: Materials, Properties, Application*. Chichester.
- [9] Smith, W. 1959. *Ferrites*. New York: Jhon willey and sons.Inc.
- [10] Betri, D. A. 2011. Ekstraksi Nikel dari bijih nikel laterit melalui proses pelindian dengan memanfaatkan bakteri. Skripsi: ITB Bandung.
- [11] Joshi, Kumar, Chhoker. 2014. Structural, Magnetic, dielectric, and optical properties of nickel ferrite nanoparticles syntherized by co-precipitation method. *Journal Of Molecular Structure vol 1076*, 55-62.
- [12] Zhang, H, Liu Z, Ma C, Yao. X, Zhang.L, Wu.M. 2002. Complex permitivity, permeability, and microwave absorption of Zn and Ti- substituted barium ferrite by citrate sol-gel process. *Material science and engineering B96*, 1.
- [13] Mayasari, I. 2012. Pengaruh Temperatur Sintering terhadap sifat fisis dan sifat magnet pada magnet permanen stronsium heksferit. Jakarta: Universitas Syarif Hidayatullah.
- [14] Safei.P, Patricius. P, Wisnu A. 2015 Pembuatan bahan magnetik barium heksaferit. *Jurnal Kimia Kemasan*, Vol. 37 No 2, hal 95-102 BATAN: Tangerang Selatan.
- [15] Nugraha, P. R., Widanarto, W., Cahyono, W. T., & Kuncoro, H. S. 2015. Pengaruh aditif BaCO_3 pada kristalinitas dan Suseptibilitas Barium Ferit dengan Metoda Matlurgi Serbuk Isotropik. *Berkala Fisika*, 18(1), 43-50.

Synthesis and Characterization of C, SnO₂, and C+SnO₂ Materials through Resistance Measurement, UV-Visible Spectroscopy, and X-Ray Diffraction

Nabila Rahmasari, Azka Fathia, Wipsar Sunu Brams Dwandaru*

*Physics Education Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Universitas Negeri Yogyakarta,*

Jl. Colombo No.1, Caturtunggal, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

**Corresponding Author: wipsarian@uny.ac.id*

Abstract – The objectives of this study are i) to determine an electrical property, especially resistance, of carbon (C), tin oxide (SnO₂), and C+SnO₂ thin films. ii) to determine the optical property of C, SnO₂ and C+SnO₂ thin films based on UV-visible spectroscopy (UV-Vis). and iii) to determine the crystallinity of C, SnO₂ and C+SnO₂ thin films based on X-ray diffraction (XRD). The results show different physical characteristics from the three samples of the thin film layers. The result on the resistance measurement shows that C thin film has the lowest resistance, followed by SnO₂, and C+SnO₂ thin films with resistance values of 1.0769 mΩ, 1.0774 mΩ, and 3.8875 mΩ, respectively. The UV-Vis results show a peak for each of the thin film at 256 nm, 257 nm, and 258 nm for C, SnO₂, and C+SnO₂, respectively, which is in the UV area. The XRD results show that the C and SnO₂ thin layers are amorphous while C+SnO₂ thin layer is crystal

Key words: thin film, carbon, SnO₂, C+SnO₂, resistance, UV-Vis, XRD

INTRODUCTION

Currently, the issue of energy for the continuity of human life can not be ignored. This is due to the rapid development of the world economy such that most of the countries in the world are increasing the demand for energy. Generally, the most commonly used energy are fossil-derived energy sources, which are non-renewable. The increasing needs of fossil fuel causes a decrease in the supply of these energy sources and may one day run out. Hence, finding or producing alternative energy sources that are environmentally friendly, renewable, and low production prices are one way to overcome the demand of energy in a long term. One of these alternative energies is solar cells. Solar cells are devices that can convert sunlight into electrical energy.

In order to construct a solar cell certain materials which are transparent and conductive are needed, such as transparent-conductive-oxide or better known as TCO materials. TCO itself is an important material to the advancement of technology today because it has a wide application such smartphone screen, LCD screen, and light sensor.

TCO is conductive because it is a semiconductor material and has a thickness of about 100-200 nm. TCO has an energy gap between 2.5 to 4.5 eV (Dengyuan, 2005). TCO is generally present in the form of indium tin oxide (ITO), tin oxide (SnO₂), fluorinated tin oxide (FTO), and aluminum doped zinc oxide ZnO: Al (AZO) (Sharker, 2015: 243).

In this study, we synthesize three materials that may be used as TCO, that is carbon (C), tin oxide (SnO₂), and C+SnO₂. SnO₂ is usually synthesized using sputtering method, sol-gel process, and chemical vapor deposition (CVD) [Kurniati, 2016: 3]. However, in this case we synthesize these materials using a simple method of direct heating.

METHODS

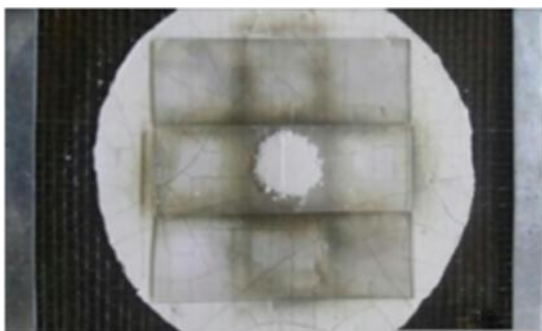
This study was conducted from July 2016 until April 2017. Moreover, this study was conducted in various places, that is i) Colloid Laboratory, Physics Education Department, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), ii) Spectroscopy Laboratory, Physics Education Department, UNY, iii) Basic Chemistry Laboratory, UNY, and iv) Integrated Mathematics and Natural Sciences Laboratory, Universitas Sebelas Maret.

The materials used in this study are tin chloride (SnCl_2), distilled water, kerosene, and smoke (fume) from an oil lamp. SnCl_2 is basic material in order to obtain SnO_2 and the smoke coming from the oil lamp is used to produce the C material. The equipment utilized in this study are i) an oil lamp, ii) glass slides, iii) an electric stove, iv) UV-Vis spectroscope (Shimadzu UV Vis 2450), XRD (Rigaku Miniflex), and v) multimeters (Sanwa Digital Multimeter CD 800a).

The experimental method may be explained as follows. First, C thin layer is created with the following steps: i) clean a glass slide using distilled water, ii) wipe the glass slide to dry using clean tissues, iii) turn on the oil lamp (kerosene as fuel) using a match until smokes come out from the lamp, iv) put the clean glass slide on top of the oil lamp with one of the glass slide surface exposed to the smoke, v) the layer formed on the glass slide is the intended C material which is characterized.



(a)



(b)

Figure 1. Arrangments of the SnCl_2 powder and glass slides. The SnCl_2 powder is sandwiched between two glass slides (a) and arrangement of two glass slides on each side of the sandwiched SnCl_2 powder (b).

Next, SnO_2 thin film is synthesized. This is conducted using the following stages: i) prepare four glass slides which have been cleaned using distilled water, ii) heat the electric stove up to 350°C , iii) weigh SnCl_2 powder with a mass of 2 grams, iv) place the SnCl_2 powder that has been weighted on top of a clean glass slide and then

flattened it, v) put another glass slide on top of the flattened SnCl_2 powder such that the powder is sandwiched between two glass slides (Fig. 1a), vi) put the SnCl_2 arrangement onto an asbestos sheet, vii) put two clean glass slides on the left and right sides of the SnCl_2 arrangement (Fig. 1b). Viii) put the asbestos sheet on top of the electric stove such that the SnCl_2 is heated for 10 minutes. Layers of different colors that show on the left and right glass slides of the SnCl_2 powder is the SnO_2 thin films.

Finally, the C+ SnO_2 thin film is obtained by combination of the two previous methods. The C layering is conducted first, and then completed by SnO_2 layer on top of the C layer.

After all of the samples are obtained, the next step is to conduct the characterization of the samples. The electrical property of the samples is determined by measuring the resistance of the samples using a prepared electrical circuit in Fig. 2. The resistance is obtained indirectly by increasing the power supply every 1 volt from 5 to 26 volts, and measuring the current on the amperemeter. Assuming an Ohmic (linear) relationship between the voltage and current, the resistance may be calculated. The optical property of the samples is studied via UV-Vis spectroscopy, and the crystallinity is observed using XRD.

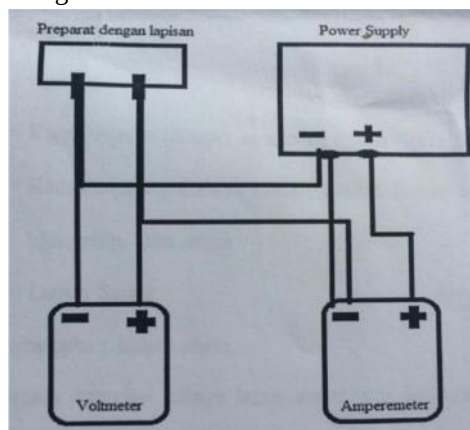


Figure 2. Schematic electrical circuit of resistance measurement Then measure the voltage and current values that listed on the voltmeter and amperemeter by increasing the power supply every 1 volt with range 5 volts up to 26 volts.

RESULTS AND DISCUSSION

As mentioned above, the resistance of the three thin layers is determined by measuring the

current and voltage values. Then the value of the resistance may be calculated by assuming Ohmic relationship between the current and voltage.

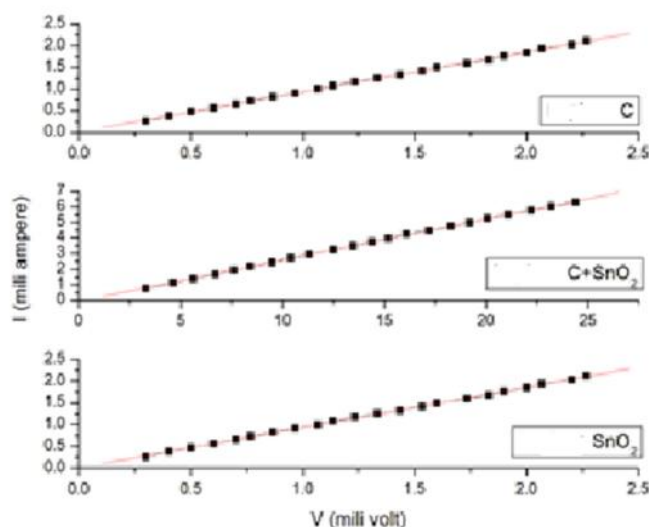


Figure 3. Graphs of the current versus voltage for C, C+SnO₂, and SnO₂ thin layers from the top to bottom, respectively.

Figure 3 shows the graphs of the current versus voltage of the three thin films. It is clearly observed that the graphs are linear (Ohmic), i.e.: increasing the voltage causes the current to increase as well. This is appropriate with Ohm's law. Hence, the resistance of C+SnO₂, C, SnO₂ thin films are 3.8875 mΩ, 1.0769 mΩ, and 1.0774 mΩ, respectively. The C+SnO₂ layer has the greatest resistance value. While C and SnO₂ thin films have resistance values which are almost similar but smaller than C+SnO₂. It seems that the resistance of the combine thin film of C+SnO₂ is obtained as the sum of the individual thin films of C and SnO₂. This means that combining the layers of C and SnO₂ increases the resistance of the combined layer of C+SnO₂.

We next look at the optical property of the thin films through the UV-Vis results. According to Figure 4 of the absorbances of C, SnO₂, and C+SnO₂ layers, a maximum absorption in the UV region occurs for the three layers. Moreover, noise occurs around the region of 300 nm to 400 nm of the three layers. In the visible region of 400 nm to 800 nm, C+SnO₂ layer forms a bump, while a flat profile is observed for C and SnO₂.

The maximum absorbance value for C is 0.1496 at a wavelength of 256 nm. For SnO₂ the maximum absorbance is about 0.1818 at a wavelength of 257 nm. Finally, for C+SnO₂ the maximum absorbance value is about 0.8163 at a wavelength of 258 nm. This shows that the wavelength at maximum absorbance of the three layers seems to be similar. For the carbon material, a maximum absorbance at around 256 nm may show the existence of graphene oxide (GO) material.

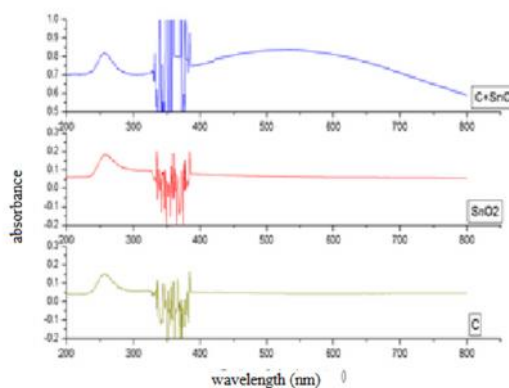


Figure 4. Graphs of UV-Vis results for C+SnO₂, SnO₂, and C thin films from the top to bottom, respectively.

Finally, the crystallinity of the three samples may be determined using XRD results. The XRD results for C and SnO₂ layers show similar pattern on the diffractograms (Figure 5). Both do not have distinct diffraction peaks, but form a bump pattern. The patterns show that C and SnO₂ is amorphous. However, C+SnO₂ shows a different diffractogram patterns. The C+SnO₂ layer is a combination of the C layer which is coated with SnO₂ layer. The XRD results for the C+SnO₂ layer shows certain peaks on the diffractogram, hence making C + SnO₂ layer a crystal.

Only the XRD result of the C+SnO₂ layer is then compared with the JCPDS standard data. The layer has a match with the JCPDS standard tin oxide compound (SnO₂) with number 77-0450 (see Table 1). The XRD result indicates that the structure of SnO₂ is tetragonal rutile (Hermida, et al., 2012). This is supported by JCPDS standard data indicating that SnO₂ has a lattice parameter of $a = b \neq c$. SnO₂ is also known as a semiconductor that has low conductivity properties, but this property can be improved by the addition of doping or impurities. Besides, SnO₂ has a porous and stable structure in the acidic state (Adawiyah, 2017: 10).

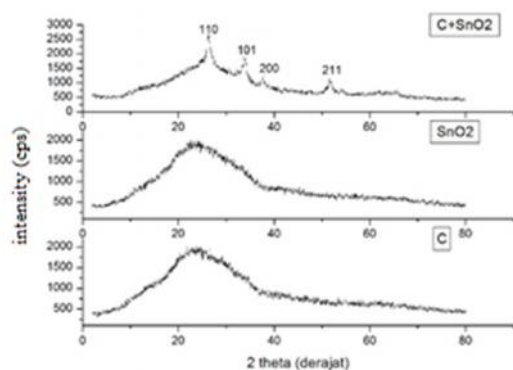


Figure 5. XRD g of C+SnO₂, SnO₂, and C thin film samples from the top to bottom, respectively.

Table 1 shows the JCPDS standard data (second column) compared to the XRD results (third column) for C+SnO₂. From the table it can be seen that the 4 peaks appearing on the diffractogram of C+SnO₂ are similar to the peaks of the JCPDS card. The XRD result shows the highest peak at the angle of 26.89° while the JCPDS standard data shows 26.542°. Both angles

have an intensity of 100 cps. The fourth peak shows the greatest intensity difference. Such a large intensity difference may be due to the influence of other elements, which in this case is C.

Table 1. Comparison of JCPDS and XRD results.

HK L	JCPDS		XRD	
	2θ	Intensity	2θ	Intensity
110	26.542	100	26.89	100
101	33.808	76.7	33.86	60.72
200	37.887	20.9	37.68	20.43
211	51.675	53.1	51.686	96.97

CONCLUSION

Based on data analysis above, it can be concluded that the resistance values for C, SnO₂ and C+SnO₂ layers are 1.0769 mΩ, 1.0774 mΩ, and 3.8875 mΩ, respectively. The UV-Vis results show an absorbance peak for all three thin films at 256 nm, 257 nm, and 258 nm for C, SnO₂, and C+SnO₂, respectively. Especially for the carbon material, the peak may suggest the existence of GO material. The three maximum absorbance values are in the UV region. Finally, the XRD results indicate that the C and SnO₂ layers are amorphous, while the C + SnO₂ layer is a crystal.

REFERENCES

- Adawiyah, Siti (2017). Synthesis and Characterization of TiO₂ Nano Particles with Sol-gel and Co-precipitation Methods for TiO₂/SnO₂ Composite Manufacture as Dye-Sensitized Solar Cells Photoanode, Institut Teknologi Surabaya.
- Dengyuan, Song (2005). Zinc Oxide TCOs (Transparent Conductive Oxides) and Polycrystalline Silicon Thin-films for Photovoltaic Applications. Doctoral Thesis, University of New South Wales.
- Hermida, I D. P., Fryantoni, D., and Soleha, G. (2012). Characterization of SnO₂ Material Based Co Gas Sensor Using the Thick Film Technology. *Electrans*, 11, 2.

- Kurniati, Fatya (2016). Differences of Sample Restance Values of SnO₂ Nanomaterials Derived from Burning SnCl₂ and Mechanical Exfoliation with Mass and Burning Time Variation of SnCl₂, Thesis, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sharker, K. K., Mubarak A. K., Shauk, M. M. K., and Islam, R. (2015). Preparation and Characterization of Tin Oxide based Transparent Conducting Coatings for Solar Cell Applications. *Int. J. Thin. Fil. Sci. Tec.* 4, 3, 243-247.

Design of Turbine-Based Rain Measurement System

Hartono, Farzand Abdullatif*, Sugito, and Zaroh Irayani

*Electronics and Instrumentation Laboratory, Department of Physics,
Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Jenderal Soedirman,
Jl. Dr. Soeparno No. 61 Karangwangkal Purwokerto 53123, Indonesia.*

**Corresponding Author: farzand@unsoed.ac.id*

Abstract- Rain measurement systems have significantly developed. In this work, a novel modification to commonly used rain measurement systems is developed. It comprises a turbine with an infrared sensor to detect its rotation. The design of the rainfall collecting funnel refers to that of general use. The prototype of the design has been characterized with an artificial rainfall, namely continuously flowing water kept at a certain debit. For characterization purpose, the water debit is gradually changed to simulate variations in rainfalls. Important results based on the characterization are threshold value of 0.01 mm/min and average deviation of 1.36%, suggesting that this tool is able to detect even a weak rainfall.

Keywords: Rain gauge, rainfall, turbines, infrared, sensor

INTRODUCTION

Infiltrations of water through rock materials will perturb the stability rock materials lying on impermeable rocks, which forms a sliding surface, and triggers a landslide [1]. The process increases with rainfall level, such that rainfall is one of important contributing factors to landslides [2]. Being a significant factor triggering a landslide, rain intensity and water infiltrations into soils needs to be continuously monitored. Here we propose a design of simple rainfall monitoring system that can signal impending landslide, built from cheap materials.

Real-time continuous measurement has been widely used to obtain exact values of rain intensity. In such a system observation data will be easily accessible and information will be promptly delivered. An online rain measurement system was developed using a tipping bucket sensor [3–5]. A further development using multi-sensor tipping-bucket was applied to monitor a microphysical area [6]. Measurements of rain intensity can also be conducted using radar, allowing for image processing. The WSR-88D (Weather Service Radar) is a method that is used for weather monitoring, one of which is rainfall [7,8]. Soil moisture measurement is also an important factor in the identification of landslide precursors [9].

Availability of the system poses a problem for real-time continuous rainfall monitoring, particularly in landslide prone areas. Therefore, a simple rainfall measurement system constructed from readily available materials is what is required. In this work a prototype of such a system was built to offer a solution to the problem.

METHODS

The system consists of three main parts, i.e. collecting funnel, turbine, and infrared sensor and lastly data processing microcontroller (See Fig. 1). The funnel being used is what is generally used in common rain measurement systems. The turbine is 8 cm in diameter, 2 cm thick, and has 12 blades. Its rotation is measured using infrared optocoupler and rotary encoder. The last part of the design is data acquisition set, which is Atmega 8535 microcontroller. Embedded with an LCD display, it is used to perform calculations with turbine rotations and convert them into the value of rain intensity displayed on the LCD.

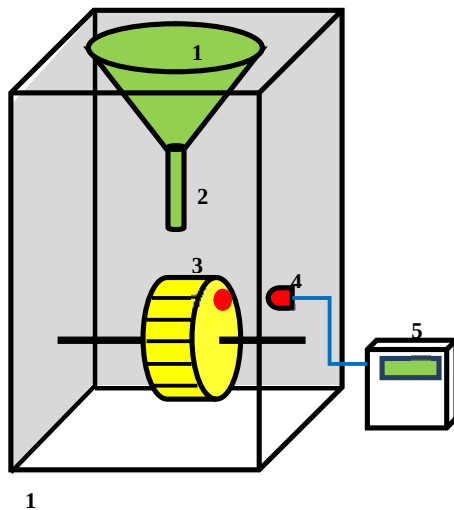


Figure 1 Schematic diagram of the apparatus

The last step is finalizing the system by testing and characterization. The test is conducted to examine overall performance of the system. The characterization to identify the threshold, accuracy, and sensitivity was conducted at a laboratory scale using an artificial rainfall. It was running water flowing continuously at a constant debit. The variation in rain intensity was simulated by varying the water debit flown into the system.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The test on the prototype was commenced from the minimum value of rainfall detectable by the system. Response of the system is demonstrated by rotation of the turbine. The test was continued by varying the debit of running water up to 0.39 mm/minute. The experimental test is given in Table 1.

Table 1 Experimental testing data of the system

No	Artificial Rain Intensity (mm/mnt)	Mean RPM	Rain Intensity shown by the sensor (mm/mnt)
1	0.015	8.35	0.009
2	0.042	14.30	0.029
3	0.060	24.25	0.063
4	0.090	29.30	0.080
5	0.099	41.10	0.121
6	0.180	62.05	0.192
7	0.255	89.45	0.285
8	0.360	104.70	0.337
9	0.390	119.00	0.385

The experimental data testing is then plotted into a calibration function for the sensor system shown in Fig. 2.

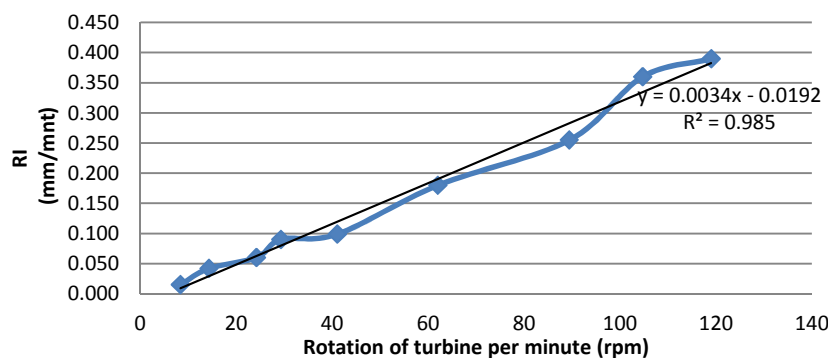


Figure 2 Graph of calibration function of the rainfall measurement system

Based on the graph shown in Figure 2, the calibration function is found to be

$$y = 0.0034x - 0.0192, \quad (1)$$

where y , denotes rain intensity in mm/minute and x denotes the number of turbine rotation per minute. The function represents rain intensity as a function of turbine rotation with a slope of 0.0034 mm/rotation. It implies that every single

rotation of the turbine corresponds to rain intensity of 0.0034 mm. The gradient of the plot also suggests the sensitivity the sensor system, i.e. 294.12 rotation/mm. It can also be inferred from the plot that smallest detectable rain intensity (threshold) of the system is 0.01 mm/minute.

Rain intensity is classified into five levels: very weak (< 0.02 mm/minute), weak (0.02–0.05 mm/minute), moderate (0.05–0.25 mm/minute), heavy (0.05–1 mm/minute), and very heavy (> 1 mm/minute). According to the classification, the system is able to detect rainfalls ranging from weak to heavy.

Another test was conducted on displacement of the measured value of rain intensity from its true value. The minimum and maximum is found to be 0.325% and 2.993%, respectively, with average displacement of 1.36%. These results indicate that the system works well and accurately.

In conclusion, we have successfully design a prototype of rainfall measurement using turbine system and infrared sensor that is capable of measuring weak to heavy rainfall with a very small error.

REFERENCES

- [1] S.H. Soenarmo, I.A. Sadisun, and E. Saptohartono, *J. Geoaplika* **3**, 133 (2008).
- [2] D. Ren, F. Rong, L.M. Leslie, and R.E. Dickinson, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **92**, 129 (2011).
- [3] R.K. Das and N.R. Prakash, *Int. J. Instrum. Technol.* **1**, 44 (2011).
- [4] I.M. Erwin, *Pusat Penelitian Informatika LIPI* (Bandung, 2003).
- [5] J. Wang, B.L. Fisher, and D.B. Wolff, *J. Atmos. Ocean. Technol.* **25**, 43 (2008).
- [6] A. Tokay, D.B. Wolff, K.R. Wolff, and P. Bashor, *J. Atmos. Ocean. Technol.* **20**, 1460 (2003).
- [7] R.A. Fulton, *Weather Forecast.* **14**, 604 (1999).
- [8] J. Wang and D.B. Wolff, *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **49**, 310 (2010).
- [9] A. Susilo, D.R. Santoso, A. Rachmansyah, and Y. Zaika, *J. Meteorol. Dan Geofis.* **12**, 283 (2011).