

E - ISSN 2621 - 7376

VOLUME 2 NO. 1 FEBRUARI 2019



**JURNAL
KETEKNIKAN
DAN SAINS**



2019

Penerbit
Lembaga Penelitian dan
Pengabdian Masyarakat
UNIVERSITAS HASANUDDIN



Copyright © 2018, Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian
Kepada Masyarakat Universitas Hasanuddin

Mencetak ulang baik secara keseluruhan atau sebagian harus melalui izin tertulis oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Hasanuddin.

Penerbit :

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas
Hasanuddin

Alamat :

Jalan Perintis Kemerdekaan Kampus UNHAS, Tamalanrea Km. 10
Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia, 90245

Email : lp2m@unhas.ac.id

Website : www.unhas.ac.id/lppm

Telp/Fax : (0411) 587 032 / (0411) 584 024

JURNAL KETEKNIKAN DAN SAINS (JUTEKS)

Ketua Dewan Redaksi : Dr. Indrabayu, ST., MT., M.Bus.Sys.

Sekretaris Dewan Redaksi : Dr. Eng. Intan Sari Areni, ST., MT.

Anggota Dewan Redaksi :

1. Prof. Dr. Ir. Rudi Djamaluddin, M.Eng
2. Sri Astuti Thamrin, S.Si., M. Stat., Ph.D
3. Dr. Eddyman W Ferial, S.Si., M.Si
4. Dr. Eng. Muhammad Isran, ST., MT.
5. Dr. Eng Achmad Yasir Baeda, ST., MT.
6. Dr. Mohammad Mochsen Sir, ST., MT.
7. Dr. Eng. Ilham Bakri, ST., M.Eng.
8. Dr. Eng Nasruddin, ST., MT.
9. Dr. Ir. Muhammad Ramli
10. Prof. Dr. Syafaruddin, ST., M.Eng.
11. Dr. Ir. Rafiuddin Syam, MT.

Sekretariat dan Distribusi :

1. Dra. Nur Azzah
2. Herlina Salimin, S.Sos., MM.
3. Ashary Latief
4. Beti Sapada
5. Lismawati, A.Md.
6. Andriana, S.Pi.
7. Nurul Arifin, S.Sos.

Mitra Bestari :

1. Dr. Ir. Lukito Nugroho
2. Dr. Kurnianingsih
3. Suntoyo, ST., M.Eng., Ph.D
4. Prof. Nanang T. Puspito
5. Dr. Fatmawati Nur Khalik, S.Si., M.Si

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa atas perkenaan-Nya kami dapat menerbitkan Jurnal Keteknikan dan Sains (JUTEKS) Volume 1 No. 2 OKTOBER 2018.

Dalam edisi ini disajikan 4 (empat) makalah berkaitan dengan ilmu teknik dan rekayasa, matematika dan ilmu pengetahuan alam dan turunan dari bidang ilmu teknik dan sains yang meliputi : (1) AZTS Dengan Metode Sol-Gel Sebagai Lapisan Buffer Bebas Cadmium Pada Sel Surya CZTS, (2) Perancangan Mesin Penggulung Kumparan Motor Listrik Sistem Otomatis Berbasis Mikrokontroler, (3) Rancang Bangun Alat Pengukur Tinggi Pohon Tegak Berbasis Mikrokontroler At-Mega 16, (4) Evaluasi Mutu Beton Menggunakan Beton Inti Diameter Kecil. Terima kasih kami sampaikan kepada para peneliti, *reviewer* dan para fungsional lain yang telah ikut berpartisipasi mengirimkan makalah untuk kelangsungan jurnal ini.

Kami mengharapkan masukan, saran dan kritik demi penyempurnaan terbitan selanjutnya, serta semoga kerjasama yang telah berjalan dapat ditingkatkan.

Makassar, Februari 2019

Salam

Ketua Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

Editorial Board	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
AZTS Dengan Metode Sol-Gel Sebagai Lapisan Buffer Bebas Cadmium.....	1-7
Pada Sel Surya CZTS	
Sukriyah Buwarda (Universitas Fajar, Makassar, Sulawesi Selatan)	
Perancangan Mesin Penggulung Kumputan Motor Listrik Sistem Otomatis.....	8-13
Berbasis Mikrokontroler	
Ahyar M, Irdam (Akademi Teknik Soroako, Soroako, Sulawesi Selatan)	
Rancang Bangun Alat Pengukur Tinggi Pohon Tegak.....	14-19
Berbasis Mikrokontroler At-Mega 16	
Sigit Setiawan, Gunomo Djoyowasito, Sandra Malin Sultan (Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur)	
Evaluasi Mutu Beton Menggunakan Beton Inti Diameter Kecil.....	20-25
Yulius Rakhman, Herman Parung, Rita Irmawaty (Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia)	

AZTS DENGAN METODE SOL-GEL SEBAGAI LAPISAN BUFFER BEBAS CADMIUM PADA
SEL SURYA CZTS
AZTS Using Sol-Gel Method as Layer of Cadmium-Free Buffer in CZTS Solar Cells

Sukriyah Buwarda

Universitas Fajar Makassar
Jl. Prof. Dr. Abdurrahman Basalamah No.101, Karampuang, Panakkukang, Makassar, 90231
E-mail: sukriyah.warda@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini memberikan rekomendasi untuk melakukan sintesis material lapisan penyusun struktur sel surya yakni pada lapisan *absorber* dan lapisan *buffer* yang memiliki peran besar terhadap pencapaian efisiensi suatu sel surya. Pada lapisan *absorber* digunakan material CZTS (CuZnSnS_4) sebagai generasi baru dari material CIGS (Cu(In,Ga)S) yang saat ini sedang menjadi topik penelitian di seluruh dunia karena keberadaan materialnya yang berlimpah di alam dan biaya *manufacturing*-nya yang relatif lebih murah. Bahan ini digunakan sebagai pengganti material CIGS yang walaupun efisiensinya telah mencapai 22.6%, namun material tersebut sangat langka dan harganya relatif mahal. Beberapa aspek yang berpengaruh pada efisiensi sel surya antara lain *thickness*, target material, *stacking order* dan *barrier layer*. Demikian pula pada lapisan *buffer* digunakan material lain pengganti Cd-S karena berdasarkan hasil penelitian bahwa material Cd-S mengandung kandungan logam berbahaya bagi kesehatan makhluk hidup dan lingkungan. Kombinasi yang dilakukan untuk memperoleh lapisan *buffer* yang optimum antara lain *thickness*, proses *annealing*, dan pengaturan temperatur. Metode yang digunakan adalah sol-gel method pada setiap layer. Kombinasi beberapa metode yang direkomendasikan dapat memperoleh sel surya yang memiliki lapisan *absorber* CZTS (CuZnSnS_4) yang *low cost manufacturing* dan lapisan *buffer* yang bebas *Cadmium Sulfida* (Cd-S)

Kata Kunci: sel surya, lapisan *absorber*, lapisan *buffer*, *sol-gel method*

ABSTRACT

This study provides a recommendation to synthesize the material of the solar cell structure in the absorber layer and buffer layer which has a large role to play in achieving the efficiency of a solar cell. In the absorber layer, CZTS (CuZnSnS_4) material is used as a new generation of CIGS (Cu (In, Ga) S) material which is currently being a research topic throughout the world because of its abundant natural presence and relatively cheaper manufacturing costs. . This material is used as a substitute for CIGS material, although its efficiency has reached 22.6%, but the material is very rare and the price is relatively expensive. Some aspects that affect the efficiency of solar cells include thickness, target material, stacking order and barrier layer. Likewise, in the buffer layer other materials are used to replace Cd-S because it is based on the results of research that the Cd-S material contains a metal content harmful to the health of living things and the environment. The combination done to obtain the optimum buffer layer includes thickness, annealing process, and temperature regulation. The method used is the sol-gel method in each layer. The combination of a number of recommended methods can obtain solar cells that have CZTS (CuZnSnS_4) absorber layers that are low cost manufacturing and Cadmium Sulfide (Cd-S) free buffer layers.

Keywords: solar cell, absorber layer, buffer layer, sol-gel method

I. PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan isu dunia yang sangat membutuhkan perhatian khusus. Pemanasan global adalah kondisi dimana suhu permukaan bumi semakin meningkat salah satunya disebabkan karena pemakaian listrik yang boros dan sebagian besar masih menggunakan sumber energi fosil sebagai bahan bakar. Semakin tinggi konsumsi daya listrik, semakin tinggi pula emisi karbon yang dihasilkan dari pembangkit listrik karena sebagian besar (60%) bahan bakarnya menggunakan bahan bakar fosil, pembakaran bahan bakar fosil tersebut adalah pemicu utama terjadinya *global warming* (Omar Ellaban, 2014).

Maka saat ini telah banyak alternatif yang dikembangkan untuk mengatasi *global warming* diantaranya dari segi penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi listrik, diantaranya yang paling populer adalah penggunaan panel surya dengan memanfaatkan efek *photovoltaic* yang dapat mengubah energi pada cahaya matahari menjadi energi listrik.

Efek *photovoltaic* pertama kali berhasil diidentifikasi oleh seorang ahli fisika berkebangsaan Prancis, Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1839. Kemudian pada tahun 1876, William Grylls Adams bersama muridnya, Richard Evans Day menemukan bahwa material padat selenium dapat menghasilkan listrik ketika terkena paparan sinar (Kim, 2018).

Dari percobaan tersebut, meskipun bisa dibilang gagal karena selenium belum mampu mengkonversi listrik dalam jumlah yang diinginkan, namun hal itu mampu membuktikan bahwa listrik bisa dihasilkan dari material padat tanpa harus ada pemanasan ataupun bagian yang bergerak. Tahun 1883, Charlez Fritz mencoba melakukan penelitian dengan melapisi semikonduktor selenium dengan lapisan emas yang sangat tipis. *Photovoltaic* yang dibuatnya menghasilkan efisiensi kurang dari 1%.

Perkembangan berikutnya adalah penemuan Albert Einstein tentang efek fotolistrik pada tahun

1904. Tahun 1927, *photovoltaic* tipe baru dirancang menggunakan tembaga dan semikonduktor *copper oxide*. Namun kombinasi ini juga hanya bisa menghasilkan efisiensi kurang dari 1%.

Pada tengah hari yang cerah radiasi matahari mampu mencapai 1000 Watt per meter persegi. Jika sebuah piranti semikonduktor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10%, maka modul sel surya ini mampu menghasilkan tenaga listrik sebesar 100 Watt. Total energi surya yang diserap oleh atmosfer, lautan dan daratan di Bumi sekitar 3.850.000 EksaJoule (EJ) pertahun. Secara umum, solar cell terdiri atas lapisan *substrate*, *back contact*, *absorber*, *buffer* dan *window*.

Saat ini, di dunia banyak material yang digunakan sebagai *absorber* solar cell setelah pada generasi pertama yang paling banyak digunakan adalah Silikon dengan efisiensi sami 26.6%. *Cassterite* merupakan sel surya generasi ketiga yang banyak diteliti saat ini. *Cassterite* merupakan material in-organik CIGS dengan efisiensi 20.4 % pada polymer substrate sedangkan pada Soda Lime Glass (SLG) dengan efisiensi 22.6% [4] dan CZTS yang saat ini baru mencapai efisiensi sampai 12.7% (Li, 2016).

Meskipun material CIGS sudah mencapai efisiensi lebih dari 22%, namun penelitian lebih banyak dikembangkan ke arah pemanfaatan material CZTS (Wenjie Li, 2018). Material CIGS $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$ merupakan material yang langka dan sulit diperoleh sehingga harganya relatif lebih mahal dibandingkan dengan material $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ yang keberadaannya melimpah di alam sehingga biaya yang dibutuhkan untuk produksi sel surya relatif lebih murah dibandingkan dengan yang lain. Selain itu, CZTS secara ideal memiliki bandgap 1.0-1.5 eV dengan koefisien absorpsi 10^4 cm^{-1} (S. M. Mahdavi, 2018).

Berdasarkan beberapa kajian pustaka yang diperoleh, maka dalam penelitian ini material (In,Ga) pada CIGS diganti dengan (Zn,Sn) menjadi CZTS yang memiliki sifat *electrical*

properties yang sama dengan CIGS (X. H. Chang Yan, 2017). Pada lapisan buffer, saat ini masih banyak digunakan material kadmium sulfida (Cd-S). Akan tetapi, material CdS diketahui sebagai material yang memiliki kandungan logam berbahaya dan dapat merusak kesehatan makhluk hidup serta dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (D. Hariskos, 1996). Bahkan di Uni Eropa dan Jepang, penggunaan kadmium untuk peralatan elektronik sudah dilarang.

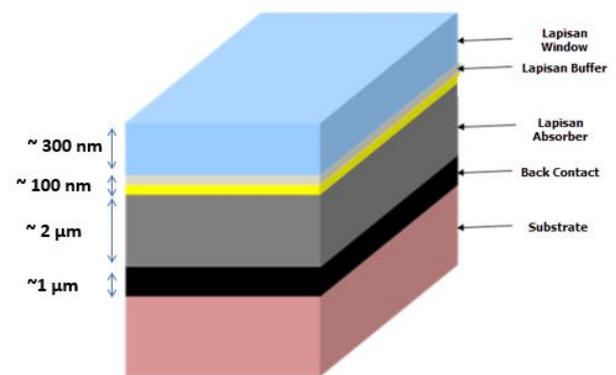
Beberapa material pengganti Cd-S yang telah diteliti diantaranya $\text{In}_x(\text{OH},\text{S})_y$ (D. Aaron R. Barkhouse, 2012), SnS_2 (S. M. Mahdavi, 2018), $\text{Zn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_y$ (ZTO) (N. Khemiri, 2017) dan $(\text{Ag}_2\text{ZnSnS}_4)$ (Huafei Gou, 2018). $\text{In}_x(\text{OH},\text{S})_y$ adalah material Indium yang termasuk langka keberadaannya, SnS_2 diperoleh bandgap yang masih besar yaitu 2.6 eV (Akhsay Jariwala, 2018), dan material $\text{Zn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_y$ (ZTO) saat ini sedang dilakukan penelitian. Oleh karena itu pada penelitian ini akan digunakan material AZTS ($\text{Ag}_2\text{ZnSnS}_4$) sebagai material pengganti CdS sebagai CdS free buffer layer (Huafei Gou, 2018).

Beberapa metode yang umum dilakukan dalam sintesis *absorber solar cell* yaitu metode *sputtering*, *evaporation*, *electrodeposition*, *spray method*, *nanoparticle based* dan *sol gel method* (Kim, 2018), (Xinlu Lin, 2018). Untuk keperluan komersialisasi, digunakan metode yang lebih mudah yaitu *sputtering method* namun biaya instrumen yang dibutuhkan sangat mahal. Penelitian terakhir menunjukkan bahwa metode yang paling banyak digunakan selama Tahun 2018 adalah *sol gel method* karena kemudahannya untuk digunakan dan tidak perlu menggunakan instrumen yang mahal. Sehingga dalam penelitian ini, akan digunakan *sol gel method* untuk setiap layer.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum struktur sel surya lapis tipis atau sering disebut dengan istilah *thin film solar cell* terdiri atas lima lapisan penyusun dasar yaitu

support substrate, *bottom electrode*, *p-type semiconductor (absorber)*, *n-type semiconductor (buffer)*, *transparent conductive oxide* dan *top electrode* sebagai *window*. Pada *support substrate* digunakan *Soda Lime Glass (SLG)*, pada lapisan *bottom electrode* digunakan *Molibdenum (Mo)* yang berfungsi sebagai *back contact*, CZTS ($\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$) sebagai lapisan *absorber*, AZTS sebagai lapisan *buffer*, dan AZO digunakan sebagai lapisan *window*. Struktur sel surya CZTS dapat dilihat pada Gambar 01.



Gambar 01. Struktur Dasar Sel Surya Lapis Tipis (*Thin Film Solar Cell*) (Kim, 2018) (Wenjie Li, 2018)

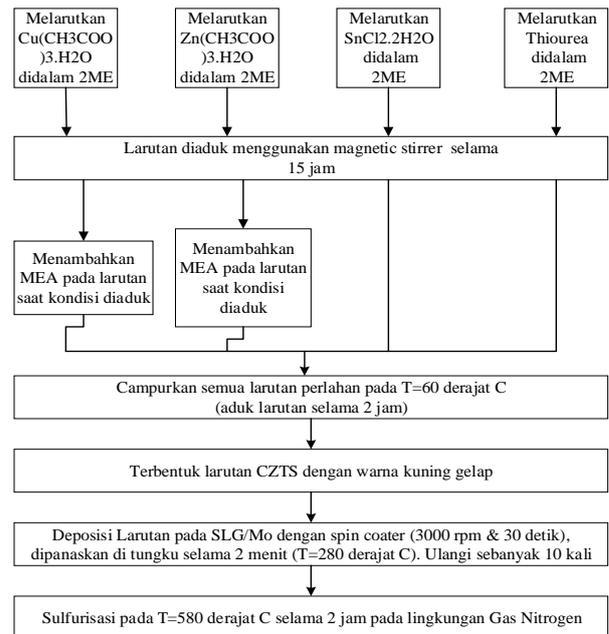
Pembentukan lapisan *absorber*, lapisan *buffer*, dan lapisan *window* dilakukan dengan metode *sol-gel*. Metode ini digunakan karena merupakan metode yang relatif lebih murah dibandingkan dengan metode yang lain seperti *sputtering* dan *evaporasi*. Selain itu hasil penelitian terbaru menunjukkan bahwa metode *sol-gel* paling banyak digunakan selama Tahun 2018.

Metode *sol gel* atau *solution gelation* adalah salah satu metode sintesis material keramik melalui tahapan fasa sol dan/atau fasa gel dengan prinsip koloid. Metode sintesis *sol gel* termasuk ke dalam kategori sintesis material secara *bottom-up* atau sintesis yang menyusun partikel-partikel kecil menjadi susunan partikel besar.

Proses dimulai dengan hidrolisis *precursor* dimana *precursor* dilarutkan ke dalam pelarut, terjadi reaksi substitusi gugus alkoksida dengan

gugus hidroksil yang kemudian membentuk hidroksida. *Precursor* selanjutnya akan bereaksi dengan pelarut sehingga membentuk koloid. Selanjutnya adalah tahapan larutan fasa sol, dimana larutan tersebut akan membentuk suspensi dan terjadi polimerisasi yang membentuk partikel-partikel yang lebih besar. Setelah memasuki fasa sol, tahapan selanjutnya dalam proses sol gel bergantung hasil produk yang diinginkan. Produk akhir sol-gel dapat berupa *xerogel*, *thin film*, *dense ceramic*, *aerogel* dan *ceramics fibers*. Partikel-partikel inorganik saling berikatan satu sama lain membentuk ruang-ruang yang terisi pelarut. Ruang-ruang inilah yang akan menjadi pori-pori. Selanjutnya adalah pengeringan untuk menghilangkan pelarut yang terdapat pada fasa gel, pelarut yang mengisi ruang-ruang pada lantai polimer akan menguap dan ruang tersebut akan menjadi pori.

Tahapan selanjutnya adalah proses kalsinasi, endapan dari fasa gel yang dikeringkan dikalsinasi sehingga partikel akan mengalami penyusutan dan saling menempel satu sama lain. Kelebihan metode *sol gel* adalah partikel yang dihasilkan akan memiliki bentuk yang seragam dan ukuran yang kecil selain itu hasil material yang disintesis dengan metode *sol gel* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, *dispersing agent*, *chelating agent*, *surface active agent* ataupun *template*.



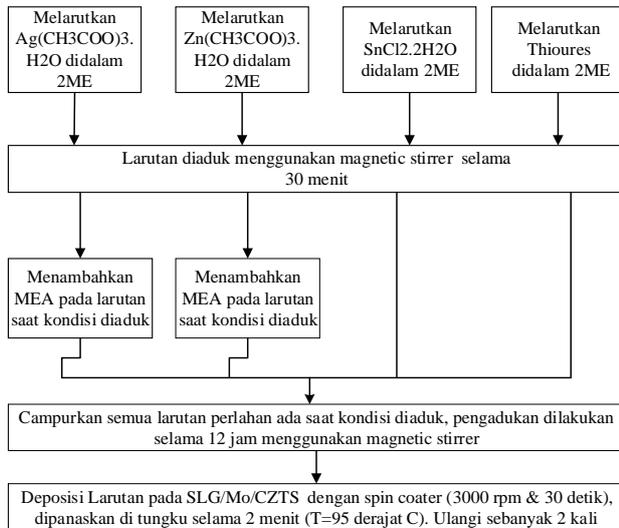
Gambar 02. Diagram alir sintesis dan deposisi CZTS

Pada dasarnya dalam pembuatan sel surya terdapat tiga tahapan utama yaitu **precursor preparation** yang dilakukan untuk mengatur ketebalan (komposisi metal) pada setiap lapisan, **sulfo selenization**, dan **cell fabrication**. Ketiga step tersebut memiliki beberapa aspek/ komponen yang dapat dilakukan optimisasi untuk memperoleh peningkatan efisiensi.

- Tahapan pertama yang dilakukan dalam proses sintesis material CZTS adalah *precursor* dan *preparation* dari Cu, Sn, Zn, S, *Back Contact* (Mo) dan substrate (SLG).
- Tahap kedua adalah deposisi larutan CZTS pada SLG/Mo menggunakan *spin coater* (3000 rpm & 30 detik). Langkah ini diulangi sebanyak 10 kali untuk menghasilkan struktur lapisan CZTS yang tebal (2 μm).
- Tahap ketiga adalah penempatan *buffer layer* dengan metode *spin coater* dengan proses deposisi larutan (AZTS) pada *substrate* SLG/Mo/CZTS.
- Tahap keempat adalah penempatan *window layer*.

Sama halnya dengan proses sintesis lapisan absorber, pada lapisan buffer dilakukan proses sintesis AZTS. Penggunaan material AZTS

sebagai lapisan buffer pernah digunakan tetapi dengan metode *co-sputtering*. Namun metode ini tergolong relatif mahal sehingga digunakan metode *sol-gel* yang lebih murah.



Gambar 03. Diagram alir sintesis dan deposisi AZTS

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti yang telah dipaparkan pada bagian metodologi penelitian bahwa pembuatan sel surya terdapat tiga tahapan utama yaitu *precursor preparation* yang dilakukan untuk mengatur ketebalan (komposisi metal) pada setiap lapisan, *sulfo selenization*, dan *cell fabrication*. Pada *support substrate* digunakan *Soda Lime Glass* (SLG), pada lapisan *bottom electrode* digunakan *Molibdenum* (Mo) yang berfungsi sebagai *back contact*, CZTS ($\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$) sebagai lapisan *absorber*, AZTS sebagai lapisan *buffer*, dan AZO digunakan sebagai lapisan *window*.

Tabel 1. Formula larutan untuk sintesis material kasterite – CZTS (CuZnSnS)

Material	Komposisi
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.17248 gr + ethanol 5 mL
$\text{Zn}(\text{Cl}_2\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.183 gr + ethanol 5 mL
$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.2265 gr + ethanol 5 mL
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$	0.9134 gr + ethanol 5 mL + deionozed water (dipanaskan)

Dalam proses sitesis material kasterite CZTS (CuZnSnS) digunakan beberapa material penyusun yaitu $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{Cl}_2\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,

$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ yang masing-masing dilarutkan menggunakan larutan ethanol dengan komposisi seperti yang disajikan pada Tabel 1. Setiap material yang telah dilarutkan dengan larutan ethanol di aduk menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit untuk dicampurkan dan dilakukan pengadukan kembali selama 30 menit untuk memperoleh homogenitas larutan.



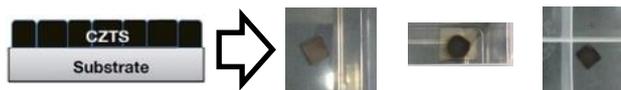
Gambar 04. Proses pengadukan larutan menggunakan *magnetc stirrer*

Larutan yang telah mencapai homogenitas atau telah tercampur dan bersenyawa dengan baik maka selanjutnya dilakukan proses *spray coating* pada *thin film* yang berukuran $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$. Proses *spray coating* dilakukan menggunakan *vacuum tube*, *nebulizer* dan *thermocuple*. Sebelum memulai proses *spray coating*, *nebulizer* harus dipastikan secara maksimal menguapkan gas ke dalam *vacuum tube*, hal tersebut ditunjukkan dengan tidak adanya gelembung yang keluar ke air. Material hasil sintesis CZTS dimasukkan ke dalam tabung yang diletakkan di atas nebulizer seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 05. Penempatan material hasil sintesis CZTS pada nebulizer

Thermocouple diatur pada suhu 296^0 Celcius untuk mendapatkan suhu yang sesuai sebelum disemprotkan menggunakan alat *spray coating*. Setelah proses *spray coating* selesai dilanjutkan dengan proses kalsinasi sehingga diperoleh lapisan absorber seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 06. Lapisan absorber CZTS yang telah terbentuk dari *thin film solar cell* menggunakan metode *sol gel method*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada substrate yang telah dibuat sebanyak beberapa kali diperoleh struktur lapisan yang belum sempurna dan selanjutnya dilakukan proses optimisasi untuk memperoleh efisiensi yang bisa mencapai efisiensi 30%. Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah sintesis material CZTS dengan menggunakan 2ME (2-mercaptoethanol) sebagai pelarut dengan komposisi formula sebagai berikut :

- $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_3 + \text{H}_2\text{O}$ dilarutkan pada 2ME
- $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_3 + \text{H}_2\text{O}$ dilarutkan pada 2ME
- $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan pada 2ME
- Thiourea dilarutkan pada 2ME

Untuk larutan $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{ME}$ dan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{ME}$ ditambahkan MEA pada larutan saat kondisi diaduk, Keempat larutan kemudian dicampurkan pada kondisi diaduk pada $T=60^\circ\text{C}$, Aduk hasil pencampuran keempat larutan selama 2 jam pada $T=60^\circ\text{C}$, akan terjadi perubahan warna dari biru ke larutan berwarna kuning gelap. Deposisi larutan pada SLG/Mo dengan *spin coater* (3000 rpm & 30 detik), kemudian dipanaskan pada tungku selama 2 menit pada $T=280^\circ$. Langkah tersebut dilakukan berulang sebanyak 10 kali untuk mendapatkan ketebalan lapisan absorber sampai 2 μm . Selanjutnya dilakukan proses sulfurisasi pada $T = 580^\circ$ selama 2 jam pada lingkungan gas nitrogen untuk memperoleh lapisan absorber yang sempurna.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan pada hasil sintesis AZTS dengan

metode *sol-gel* sebagai lapisan buffer bebas *Cadmium* pada sel surya CZTS diperoleh beberapa model *thin film solar cell* dengan ketebalan window layer ~500 nm, buffer layer ~60 nm dan absorber layer ~2 μm dengan nilai efisiensi yang masih membutuhkan optimasi untuk memperoleh efisiensi hingga 30%. Beberapa hal yang dapat dilakukan diantaranya dengan mencoba komposisi larutan yang lain atau dengan menggunakan pelarut yang berbeda dan menguji kembali performansi yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim peneliti di Laboratorium *Advanced Material* Institut Teknologi Bandung dan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas kesempatan yang diberikan untuk mengikuti magang Nanosains dan Nanoteknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhsay Jariwala, T. K. (2018). SnS₂ Films Deposited from Molecular Ink as Cd-Free Alternative Buffer Layer for Solar Cells. *American Institute of Physics*.
- D. Aaron R. Barkhouse, R. H. (2012). Cd-free buffer layer materials on Cu₂ZnSn(S_xSe_{1-x})₄: Band alignments with ZnO, ZnS, and In₂S₃. *American Institute of Physics*.
- D. Hariskos, U. R. (1996). *A novel cadmium free buffer layer for Cu (In , Ga) Se 2 based solar cells In (OH / 3 In₂S, vol. 42, pp. 345–353.*
- Huafei Gou, C. M. (2018). The fabrication of Cd-free Cu₂ZnSnS₄-Ag₂ZnSnS₄ heterojunction photovoltaic devices. *Elsevier*, 146-153.
- Johannes Lockinger, S. N. (2018). TiO₂ as intermediate buffer layer in Cu(In,Ga)Se₂ solar cell. *Elsevier*, 397-404.
- Kim, J. H. (2018). *Developing Inorganic Thin Film Solar Cells Using Earth-Abundant Cu₂ZnSn(S,Se₄) Absorber Materials*

based on Sputtering Process. Korea:
Department of Materials Science and
Engineering Chonnam National
University.

- Li, S. (2016). *Optimization of Buffer Layer for Copper-Zinc-Tin-Sulfide-based Solar Cells.* Tallinn.
- N. Khemiri, F. A. (2017). Tunable optical and structural properties of Zn(S,O) thin films as Cd-free. *Elsevier*, 1-4.
- Omar Ellaban, H. A.-R. (2014). Renewable and Sustainable Energy Reviews. *Elsevier*, 748-764.
- S. M. Mahdavi, N. H.-H. (2018). *A modeling study on utilizing SnS₂ as the buffer layer of CZT(S, Se) solar cells.* Elsevier.
- W. Li, M. R. (2018). Recent Progress in Solution-Processed Copper- Chalcogenide Thin-Film Solar Cells. 46-59.
- Wenjie Li, J. M. (2018). Recent Progress in Solution-Processed Copper Chalcogenide Thin-Film Solar Cells. *Energy Technology*, 46-59.
- X. H. Chang Yan, K. S. (2017). Boost Voc of pure sulfide kesterite solar cell via a double CZTS layer stacks. *Elsevier*, pp. 7–11.
- Xinlu Lin, H. L. (2018). Cu(In,Ga)Se₂ solar cell with Zn(S,O) as the buffer layer fabricated by a chemical bath deposition method. *Elsevier*, 130-141.

PERANCANGAN MESIN PENGGULUNG KUMPARAN MOTOR LISTRIK SISTEM OTOMATIS BERBASIS MIKROKONTROLER

Designing of Automatic Coil Winding Machine for Electric Motor Based on Microcontroller

Ahyar M^{1*)}, Irdam²⁾

^{1*)} Prodi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Akademi Teknik Soroako, Luwu Timur

²⁾ Prodi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Akademi Teknik Soroako, Luwu Timur

^{*)} email: ahyaralmansur@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang mesin penggulung kumparan motor listrik sistem otomatis berbasis mikrokontroler untuk menggantikan sistem manual. Alasan utamanya adalah mengurangi resiko kesalahan-kesalahan yang mungkin dapat ditimbulkan oleh operator pengguna mesin manual, meningkatkan efisiensi kerja mesin dan alat, dan peningkatan produktifitas kerja. Metodologi penelitian ini adalah penelitian eksperimental yang terdiri atas tahap perencanaan, tahap perancangan dan pembuatan, tahap pengujian dan analisa serta tahap finalisasi. Tahap perencanaan meliputi disain rancangan, membuat gambar kerja, dan penyediaan material dan peralatan. Kemudian, tahap pembuatan meliputi pembuatan komponen mekanik, rangkaian listrik dan program mikrokontroler. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kecepatan penggulangan dan keakuratan penggulangan. Penelitian ini menghasilkan mesin dengan penggerak motor stepper, keypad sebagai entry data jumlah lilitan, LCD sebagai penampil jumlah lilitan, dan optocoupler sebagai pencacah jumlah lilitan. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh tingkat keakuratan sekitar 99,53 %, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menggulung 1 lilitan adalah 0,58 detik, dan kecepatan penggulangan sebesar 1,72 lilitan/detik.

Kata Kunci : penggulung kumparan, sistem otomatis, mikrokontroler, optocoupler.

ABSTRACT

This research aims to design and manufacture an automatic electric motor coil winding machine based on microcontroller for replacing the manual system. The main reasons are reducing the fault risk that could be made by the operator using manual machine, increasing efficiency of machine as well as productivity of work. Methodology of this research based on experimental research that consist of several stages i.e. planning, design and manufacture, trial and analysis, and finalization. Planning stage involves design draft, working drawing, and also tools and material preparation. Then, design and manufacture stage covers making of mechanic parts, electric and electronic circuit, and design of controller program. The testing was conducted on rolling speed test and accuracy test of coil winder. This machine is driven by stepper motor, using keypad as entry data number of windings, LCD to show the progress of coil winder and opto-coupler as a counter of turns. Data obtained from the test shows that the level of accuracy of rpm control is about 99%, average time to roll up a winding is 0,58 second, speed of coil winder is 1,72 turns/second.

Keywords: coil winder, automatic system, microcontroller, optocoupler.

I. PENDAHULUAN

Kecepatan dan keakuratan hasil kerja sangat diperlukan dalam proses *maintenance* atau perawatan dan perbaikan mesin-mesin industri. Sebagai contoh, dalam proses perbaikan motor listrik, seringkali diperlukan penggantian kumparan motor. Hal ini memerlukan proses penggulungan kumparan motor listrik yang baru. Keakuratan jumlah lilitan motor menjadi salah satu hal yang penting dalam penggantian kumparan motor ini.

Pada penggulangan kumparan dengan mesin konvensional, proses penggulangan dilakukan secara manual dengan memutar *handle* sebanyak jumlah lilitan yang diinginkan. Kendala yang mungkin terjadi pada proses penggulangan manual ini antara lain adalah kecepatan kerja yang tidak konsisten, kontinuitas penggulangan yang tergantung pada operator, hasil penggulangan dapat tidak sesuai dengan yang diinginkan, dan memerlukan pengawasan selama proses penggulangan berlangsung. Mekanisme manual ini dapat dioptimalisasi dengan mengganti sistem kerja menjadi otomatis. Proses penggulangan dengan memutar *handle* bisa digantikan dengan motor listrik, pengontrolan kecepatan dan hasil penggulangan dapat dikendalikan melalui piranti pengendali seperti mikrokontroler. Proses dapat berlangsung secara otomatis sehingga ketergantungan pada operator untuk mengawasi secara penuh dapat dikurangi.

Kajian atau penelitian mengenai pembuatan mesin penggulang kumparan berbasis mikrokontroler telah banyak dilakukan. Gapita, Hamzah, dan Nurhalim (2015) telah merancang mesin penggulang transformator berbasis mikrokontroler ATmega8535. Mesin penggulang yang dibuat menggunakan motor AC dengan sensor magnet sebagai pendeteksi jumlah lilitan, mikrokontroler ATmega8535 sebagai pengendali utama, dan keypad serta LCD sebagai interface. Pengujian ketelitian mesin memberikan hasil kesalahan di bawah 5%.

Yandri dan Desmiwarman (2016) juga telah membuat mesin penggulang kawat email untuk kumparan motor menggunakan mikrokontroler ATmega328 sebagai unit pengendali, Mesin penggulang yang dihasilkan digerakkan dengan motor DC dengan pengaturan kecepatan menggunakan potensiometer, dan menggunakan *limit switch* sebagai penghitung jumlah putaran. Hasil penggulangan yang cepat dan akurat diperoleh pada setting PWM di bawah 210.

Ahyar dan Irdam (2015) telah membuat purwarupa mesin penggulang kumparan yang dikerjakan dengan bantuan mahasiswa program Tugas Akhir D3 Perawatan dan Perbaikan Mesin di Akademi Teknik Soroako. Komponen-komponen penggerak dan pengendali yang terdapat pada mesin penggulang kumparan ini adalah mikrokontroler Arduino Mega 2560, motor stepper, *keypad* 4x4, LCD 20X4, dan *limit switch*. Uji performa mesin telah menghasilkan keakuratan yang tinggi yaitu sekitar 99%. Kelemahan yang perlu dioptimalisasi pada mesin yang telah dibuat ini adalah proses penggulangan yang masih lambat, yaitu memerlukan waktu 1,9 detik untuk setiap 1 lilitan, atau kecepatan penggulangan sekitar 0,53 lilitan/detik.

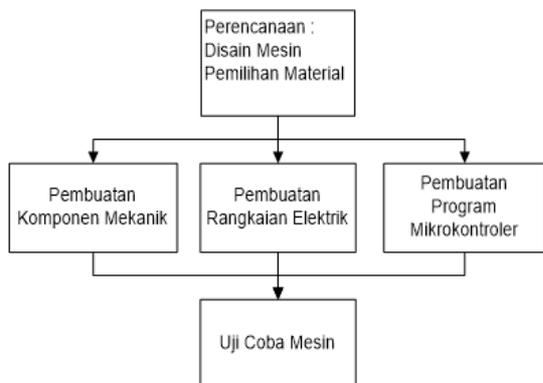
II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian perancangan mesin penggulang kumparan berbasis mikrokontroler ini menggunakan metode penelitian eksperimental.

Metode penelitian dilaksanakan dengan tahapan-tahapan eksperimen sebagai berikut : 1) tahap perencanaan yang meliputi identifikasi masalah, studi lapangan, studi literatur, persiapan draft dan alternatif rancangan; 2). tahap perancangan dan pembuatan alat yang meliputi gambar rancangan sistem mekanik dan elektrik, persiapan material dan suku cadang, proses manufaktur, disain program kendali; 3) tahap uji coba dan analisa yang meliputi uji coba perangkat keras, uji coba perangkat lunak, uji coba mesin dan analisa. Tahapan

perancangan mesin penggulung kumparan berbasis mikrokontroler ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan rancang bangun mesin penggulung kumparan

2.2 Tuntutan Rancangan

Daftar tuntutan akan menjadi dasar pertimbangan dalam menentukan rancangan. Tuntutan dibuat berdasarkan beberapa aspek seperti disain, biaya, waktu, konstruksi, proses manufaktur, pengoperasian, fungsi, faktor keamanan, perawatan dan estetika. Tabel 1 memperlihatkan daftar tuntutan dan kriteria tuntutan yang menjadi pertimbangan dalam perencanaan dan perancangan mesin penggulung kumparan motor listrik.

Tabel 1. Daftar tuntutan rancangan

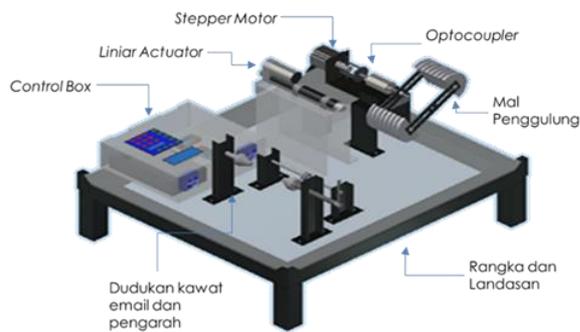
No.	Tuntutan	Kriteria Tuntutan
1	Disain	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bentuk sederhana. 2. Ukuran mesin tidak terlalu besar. 3. Mobilisasi Mudah. 4. Suku cadang mudah diperoleh. 5. Material mudah diperoleh.
2	Biaya dan Waktu	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biaya pembuatan dan pembelian murah. 2. Biaya perawatan. 3. Suku cadang murah. 4. Perancangan cepat. 5. Waktu kerja singkat.
3	Konstruksi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konstruksi Sederhana. 2. Komponen mudah dirakit. 3. Kokoh. 4. Masa pakai lama. 5. Berat yang ideal.

4	Proses Manufaktur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proses Pemesinan Mudah. 2. Proses fabrikasi mudah. 3. Alur manufaktur tidak rumit. 4. <i>Assembly</i> mudah. 5. Penggantian <i>part</i> mudah.
5	Proses pengoperasian	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penyetingan tidak rumit 2. Mudah dioperasikan. 3. Pengoperasian otomatis. 4. Pengopersian cepat. 5. <i>Power supply</i> dapat menggunakan arus AC dan DC
6	Fungsi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah lilitan akurat. 2. Kumparan rapat. 3. Kumparan rapi. 4. Penggulungan cepat. 5. Penggulungan mudah.
7	Faktor keamanan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak Memiliki bagian yang tajam. 2. Rangkaian listrik aman. 3. Tidak membahayakan operator dan peralatan. 4. Tidak mencemari lingkungan. 5. Tidak memiliki bahan mudah terbakar.
8	Perawatan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perawatan mudah. 2. Komponen mudah dilepas. 3. Tidak membutuhkan teknisi perawatan khusus. 4. Tidak memerlukan pelumasan yang rutin. 5. Tidak menyulitkan teknisi perawatan.
9	Estetika	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konstruksi rapi. 2. Rangkaian listrik/elektrik rapi. 3. Proporsional / simetris. 4. Komponen bersih. 5. Warna menarik.

2.3 Rancangan Penelitian

Rancangan optimalisasi mesin dihasilkan setelah melalui tahapan perencanaan serta perancangan. Tahapan ini meliputi pemeriksaan dan analisa mesin yang sudah dibuat sebelumnya. Disain

meliputi optimalisasi rancangan, penetapan komponen mekanik dan elektrik, serta perubahan program pengendali.



Gambar 2. Rancangan optimalisasi mesin penggulung kumparan

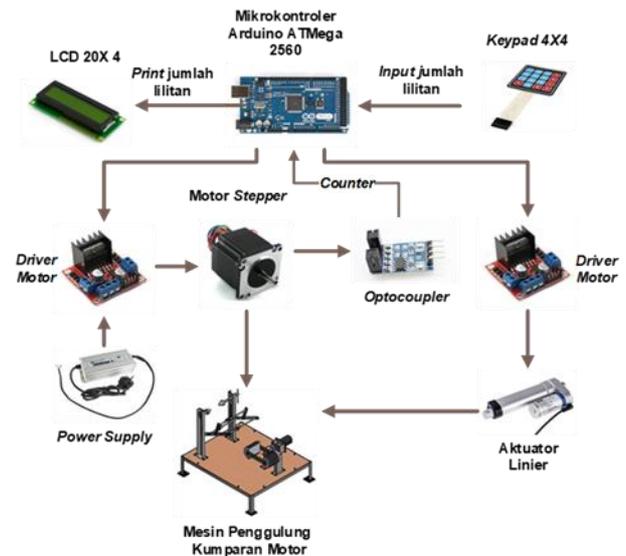
Rancangan mesin penggulung yang direncanakan meliputi beberapa aspek yaitu:

- Geometri : dimensi yang mesin yang dibuat yaitu panjang ± 800 mm, lebar ± 700 mm, dan tinggi ± 500 mm.
- Material : menggunakan material ringan dan mudah dibentuk, serta tidak mudah rusak.
- Kinematika : gerakan rotasi pada mal penggulung kumparan, dan gerakan translasi pada aktuator linear.
- Gaya dan energi : sistem kendali mikrokontroler dengan spesifikasi tegangan input 12 V, motor stepper dan aktuator linier dengan tegangan kerja 5 – 12 V.
- Sinyal : menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali proses, *optocoupler* sebagai sensor penghitung putaran, dan *keypad* serta LCD sebagai media *interface*.
- Ergonomi : nyaman dalam pengoperasian dan mudah dipindahkan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Mekanisme Kerja Mesin

Penelitian ini telah menghasilkan purwarupa mesin penggulung kumparan motor listrik berbasis mikrokontroler. Mekanisme kerja ditunjukkan pada skema pengendalian seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengendalian mesin penggulung kumparan motor listrik

Mesin penggulung ini dikontrol dengan input dari *keypad* dan *optocoupler* yang selanjutnya diolah pada mikrokontroler, kemudian dilanjutkan pada driver motor stepper, driver *linear actuator*, dan LCD. sehingga motor stepper akan berputar sesuai dengan input yang dimasukkan pada *keypad* yang akan ditampilkan pada LCD. Aktuator linier akan bergerak maju mundur sesuai dengan input yang dimasukkan pada *keypad*. *Optocoupler* akan melakukan perhitungan putaran pada mal penggulung, sehingga motor akan berhenti sesuai data yang telah diinputkan.

3.2 Uji Coba Mesin

Proses pengujian dilakukan pada komponen elektrik seperti motor stepper dan uji keseluruhan performa mesin. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa komponen yang digunakan dapat berfungsi dengan baik, sehingga pada waktu pengujian secara keseluruhan dapat bekerja secara maksimal.

Pengukuran rpm motor stepper dilakukan untuk mengukur kecepatan putaran motor atau rpm yang disetting pada program dengan rpm yang sebenarnya. Pada pengukuran ini, mal penggulung kumparan dilepas sehingga motor stepper berputar tanpa beban. Kecepatan putar aktual motor stepper tanpa beban diukur dengan

menggunakan alat ukur *tachometer*. Hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji pengukuran RPM motor stepper

No	Setting rpm program	Rerata rpm pengukuran	Error
1	115	113,9	1,13
2	120	119,3	0,70
3	140	138,8	1,24
4	160	159,1	0,90
5	200	198,7	1,27

Dari hasil pengukuran diperoleh data error atau selisih antara setting rpm dengan rpm aktual, dan dapat dihitung persentase akurasi dan persentase kesalahan program. Jumlah setting rpm adalah 735 rpm, dan jumlah error yang terjadi sebesar 5,24 rpm. Keakuratan program rpm dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase akurasi rpm} &= \\
 &= \frac{\sum \text{rerata aktual rpm}}{\sum \text{setting rpm}} \times 100\% \\
 &= \frac{729,8}{735} \times 100\% \\
 &= 99,3\%
 \end{aligned}$$

Pengujian kecepatan penggulangan dilakukan dengan melakukan penggulangan kumparan kawat email ukuran 0,8 mm. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2. Pengukuran waktu penggulangan dilakukan pada beberapa variasi jumlah lilitan yang diinputkan yaitu 10, 20, 30, 40, dan 50 lilitan.

Tabel 2. Hasil uji kecepatan penggulangan kumparan

No	Jumlah lilitan	Waktu penggulangan (detik)
1	10	6,2
2	20	11,5
3	30	17,0
4	40	22,5
5	50	28,9

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2 memberikan rata-rata waktu menggulung 1 lilitan adalah 0.56 detik atau kecepatan penggulangan sekitar 1,78 lilitan/detik seperti yang ditampilkan pada grafik berikut ini.



Gambar 4. Grafik hasil pengujian kecepatan penggulangan

Dari segi waktu penggulangan, hasil rancangan optimalisasi mesin penggulang kumparan telah mengalami perbaikan dari mesin yang dibuat sebelumnya yang membutuhkan waktu sekitar 1,9 detik per lilitan. Jika dibandingkan dengan alat penggulang kumparan konvensional, waktu penggulangan yang diperoleh masih lebih lambat, namun operator bisa melakukan dua pekerjaan secara bersamaan selama proses penggulangan berlangsung.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan, pengujian dan analisa hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa mesin penggulang kumparan motor otomatis yang telah dirancang menunjukkan kinerja yang baik berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan tingkat akurasi rpm sebesar 99,3% dan kecepatan penggulangan rata-rata sekitar 1,72 lilitan per detik. Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan pengembangan program dan perbaikan pada mekanisme sambungan poros motor dan mal penggulang untuk meningkatkan kecepatan kerja mesin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan apresiasi kepada Kemenristekdikti atas dukungan pendanaan pada penelitian ini. Dan ucapan terima kasih juga kepada mahasiswa Akademi Teknik Soroako atas nama Aderia Reslim, Muh. Ajwar, dan Harwinskyah yang telah membantu dalam proses penggambaran dan proses manufaktur serta pengambilan data dalam pengujian mesin penggulung kumparan motor listrik ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahyar M, & Irdam. (2015). Otomatisasi Mesin Penggulung Kumparan Motor Listrik dengan Penggerak Motor Stepper. *Seminar Nasional Teknologi Industri* (hal. 285 - 290). Makassar: UPPM Politeknik ATI Makassar.
- Budiharto, W. (2015). *Perancangan Sistem dan Aplikasi Mikrokontroler*. Jakarta: PT Elex Media Computindo.
- Chakraborty, K., Chand, N., Roy, B., & Nandi, P. K. (2013). Design and Development Stepper Motor Position Control System Using Atmel 85c1 Microcontroller. *International Journal of Emerging Research in Management and Technology*, 2(12), 44 - 48.
- Ebel, F., Idler, S., Prede, G., & Scholz, D. (2008). *Fundamentals of Automation Technology, Technical Book*. Dankendorf, Germany: Festo Didactic GmbH & Co.
- Fushshilat, I., Somantri, Y., & Somantri, M. (2014, Maret). Rancang Bangun Mesin Gulung Transformator Otomatis Berbasis Mikrokontroler. *ELECTRANS*, 13(1), 23-34.
- Gapita, R. S., Hamzah, A., & Nurhalim. (2015, Oktober). Perancangan Mesin Penggulung Kumparan Transformator Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. *JOM FTEKNIK UNRI*, 2(2), 1-5.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). *Engineering Design A Systematic Approach* (3rd ed.). London: Springer-Verlag London Limited.
- Pitowarno, E. (2006). *Robotika Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Yandri, V. R., & Desmiwarman. (2016, Januari). Rancang Bangun Alat Penggulung Kawat Email untuk Kumparan Motor Menggunakan Mikrokontroler ATmega328 Sebagai Unit Pengendali. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 5(1), 16-21.

Rancang Bangun Alat Pengukur Tinggi Pohon Tegak Berbasis Mikrokontroler At-Mega 16

Design Of Tree Altimeter Based On At-Mega 16 Microcontroller

Sigit Setiawan^{1*}, Gunomo Djoyowasito², Sandra Malin Sutan³

¹Program Magister Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145
Penulis Korespondensi Email : sindutimut@gmail.com

ABSTRAK

Kayu adalah bagian batang atau cabang serta ranting tumbuhan yang mengeras karena mengalami lignifikasi. Salah satu kegiatan dalam inventarisasi hutan adalah pengukuran untuk penaksiran massa tegakan yang berupa tabel isi dimana jika dilakukan pengukuran pohon secara langsung memerlukan waktu serta biaya yang besar. Hal inilah yang mendasari pembuatan alat pengukur tinggi pohon tegak berbasis mikrokontroler. Pembuatan alat menggunakan sensor sudut dari potensiometer serta presisi pengukuran menggunakan Laser, sedangkan mikrokontrol yang digunakan yaitu AT-MEGA 16. Program yang digunakan yaitu BASCOM AVR. Validasi dilakukan pada jarak 5 meter. Berdasarkan hasil pengujian tinggi diketahui bahwa alat mampu bekerja sesuai fungsinya. Dari hasil pengujian dihasilkan data yang linier baik pengukuran sudut maupun tinggi, dengan R^2 sebesar 0.9. Hal ini menunjukkan bahwa alat dapat bekerja dengan baik dan stabil.

Kata Kunci : *Alat Ukur, Tinggi, Pohon, Mikrokontroler*

ABSTRACT

Wood is part of the trunk or branches and twigs of plants that hardens because lignified. One of the activities in the forest inventory is the measurement for mass assessment stands in the form of a table of contents which if done directly measure the trees require a lot of time and expense. This is what underlies the manufacture tree altimeter and volume microcontroller based of vertical trees. Making tools using the angle sensor of the potentiometer while microcontroller used are AT-MEGA 16. The program used is BASCOM AVR. Validation is done at 5 meter distances. Based on the results of testing known that the tools are able to work according to its function. From the test results generated data is linear, with R^2 of 0.9 between the angle and height. This shows that the tools can work well and stable.

Keywords: *Measure, Altimeter, Tree, Microcontroller*

I. PENDAHULUAN

Kayu terbentuk akibat akumulasi selulosa dan lignin pada dinding sel berbagai jaringan di batang (Eom *et al.*, 2012). Ada kaitan yang erat antara sifat-sifat kayu dengan sifat jenis pohon yang menghasilkannya (Khelfa *et al.*, 2012).

Kerapatan (densitas) kayu bervariasi menurut spesiesnya dan menentukan kekuatan kayu tersebut (Gao *et al.*, 2003). Ketinggian pohon menjadi salah satu parameter struktur hutan yang penting dan vital dalam memperkirakan volume biomasa, volume hutan dan ketersediaan

karbon pada daerah yang luas (Nelson *et al.*, 2009).

Pengukuran tinggi pohon berdiri dapat dilakukan secara langsung atau secara tidak langsung. Pengukuran tinggi pohon secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan tongkat berukuran (Yorulmaz *et al.*, 2009). Pengukuran tinggi secara tidak langsung pada dasarnya dengan menggunakan prinsip-prinsip ilmu ukur sudut. Alat pengukur tinggi dengan prinsip ini antara lain *christens hypsometer* dan *hagameter*. Menghitung diameter pohon dapat dilakukan secara mudah, cepat dan akurat serta murah. Sedangkan untuk mengukur ketinggian lebih sulit dilakukan serta membutuhkan biaya dan waktu yang lama (Tian J., Le Wang dan Xiaojuan Li, 2015).

Trigonometri adalah Konsep kesebangunan segitiga siku-siku. Sisi-sisi yang bersesuaian pada dua bangun datar yang sebangun memiliki perbandingan yang sama (Anonim^a, 2016). Kerucut merupakan salah satu bagian dari kelompok bangun ruang sisi lengkung. Kerucut merupakan bangun ruang sisi lengkung yang mempunyai dua sisi yaitu sisi alas dan selimut. Kerucut terpancung merupakan kerucut tegak yang ujung atasnya dipotong, jika kita amati maka bentuknya akan mirip seperti ember terbalik (anonim^b, 2016). Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) merupakan mekanisme suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik, biasanya dalam bentuk cahaya yang tidak dapat dilihat dengan mata normal (Sugioka, 2010). Laser memancarkan foton dalam pancaran tunggal. Dalam kehidupan sehari-hari laser digunakan pada berbagai bidang. Dalam penggunaannya energi laser yang terpancar tiap satuan waktu dinyatakan dalam mW (Sugioka, 2010). AT-MEGA 16 merupakan mikrokontroler CMOS 8-bit yang berdaya rendah berdasar pada AVR dan arsitektur RISC. Adapun spesifikasi dari mikrokontroler ini yaitu menggunakan *single-clock cycle execution*, MIPS sebesar 16 MHz, 512 bytes EEPROM, 1 Kbyte

internal SRAM, 32 *Programable I/O Lines* (ATMEL, 2016).

II. METODOLOGI PENELITIAN

II.1 Alat

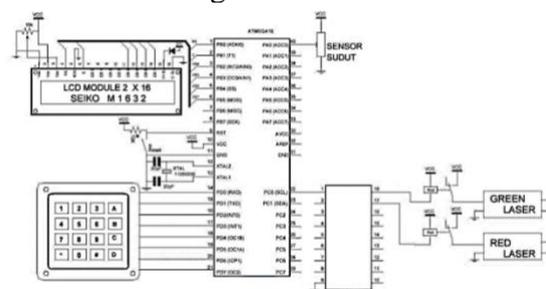
Alat yang digunakan yaitu solder, obeng, multimeter, tang potong, tang jepit, bor listrik, bor tangan, gerinda duduk, penggaris, busur derajat, korek api, dan PC.

II.2 Bahan

Bahan yang digunakan yaitu minsis, baterai AA, baterai Panasonic CR123, green laser, red laser, saklar on/off, LCD 2 x 16 , keypad, lem tembak, spacer, skun, mur, baut, skrup, AT-Mega 16, resistor, kapasitor, transistor, relay, papan PCB, memori, USB Asp, VR, lampu LED, bok akrilik, besi silinder, sensor sudut, lem kac.

II.3 Rangkaian Elektronik

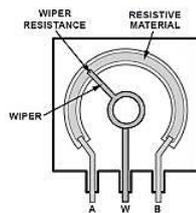
Proses pembuatan PCB dilakukan dengan membuat PCB sendiri, dimana papan PCB yang sudah digambar jalur elektroniknya kemudian direndam menggunakan Ferrit clorida untuk menampilkan jalurnya, sedangkan untuk rangkai elektroniknya dapat dilihat pada Gambar 1. Sebagai berikut :



Gambar 1. Rangkaian Elektronik

2.3 Penentuan Sudut

Sensor sudut digunakan untuk mengukur sudut hasil pengukuran, kemudian sensor ini disambungkan dengan mikrokontrol untuk dikonversi dan disimpan dalam memori dari mikrokontrol



Gambar 2. Sensor sudut

II.4 Rangkaian Pembidik

Rangkaian ini terbuat dari besi yang didalamnya diletakkan sensor sudut untuk mengukur tinggi pohon seperti pada Gambar 3. Sebagai berikut :



Gambar 3. Rangkaian pembidik

II.5 Pemrograman

Untuk mengkonversi data baik dari sinyal potensiometer maupun penggunaan rumus, dilakukan dengan program BASCOM AVR versi 2.0.7.x.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1 Rangkaian Pembidik

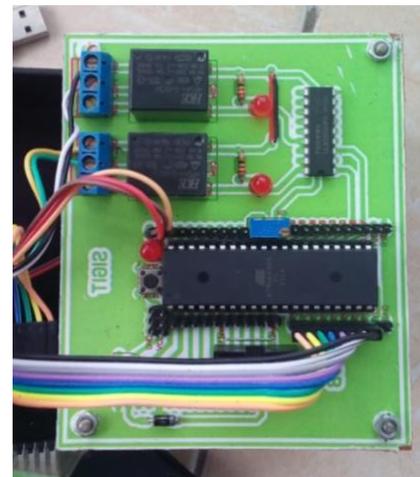
Rangkaian pembidik merupakan salah satu rangkaian alat yang berfungsi untuk menembak objek yang akan kita ukur jaraknya. Rangkaian ini terbuat dari besi silinder dengan diameter 3 cm yang berpasangan. Masing-masing pembidik ditempatkan laser yang berfungsi untuk menandai jarak pembidikan. Pada rangkaian ini ditempatkan laser sebagai acuan pada saat pembidikan.



Gambar 4. Bentuk rangkaian pembidik.

III.2 Rangkaian Elektronik

Rangkaian elektronik merupakan rangkaian dimana komponen elektronik dihubungkan satu dengan yang lain melalui papan sirkuit. Setiap komponen memiliki fungsi dan cara kerja tertentu, sehingga dapat kita hubungkan fungsi dari masing-masing komponen untuk tujuan tertentu. Adapun rangkaian elektronik dari alat ini dapat dilihat pada di bawah ini



Gambar 5. Bentuk rangkaian elektronik

Untuk melindungi rangkaian elektronik, maka digunakan kotak akrilik sebagai penutupnya.



Gambar 6. Kotak penutup berbahan akrilik

Sebagai sumber listrik digunakan baterai AA 1,5 V. Sedangkan sumber listrik untuk laser menggunakan baterai Panasonic CR123.

III.3 Pemrograman

Untuk mengukur sudut kita membutuhkan jarak, dimana jarak ini kita inputkan manual menggunakan keypad. Adapun perintah untuk menginputkan jarak sebagai berikut :

```
Gosub Ambilangka
Jarak = Nilaikeypasasli
Lowerline
Lcd Jarak
Gosub Ambilangka
Jarak = Jarak * 10
Jarak = Jarak + Nilaikeypasasli
Lowerline
Lcd Jarak
Gosub Ambilangka
Jarak = Jarak * 10
Jarak = Jarak + Nilaikeypasasli
Lowerline
Lcd Jarak
Gosub Ambilangka
Jarak = Jarak * 10
Jarak = Jarak + Nilaikeypasasli
Lowerline
Lcd Jarak
Gosub Ambilangka
Jarak = Jarak * 10
Jarak = Jarak + Nilaikeypasasli
```

Dari input jarak ini kemudian kita konversi menjadi nilai tinggi menggunakan persamaan trigonometri sebagai berikut :

$$a = b \tan A \dots \dots \dots (1)$$

Dari persamaan ini kemudian kita buat programnya dengan perintah sebagai berikut :

```
Do
Nilaiadc = Getadc(0)
Sudut = M * Nilaiadc
Sudut = Sudut + C
Tinggi = Deg2rad(sudut)
Tinggi = Tan(tinggi)
Tinggi = Jarakkoma * Tinggi
```

III.4 Validasi Pengukuran Sudut

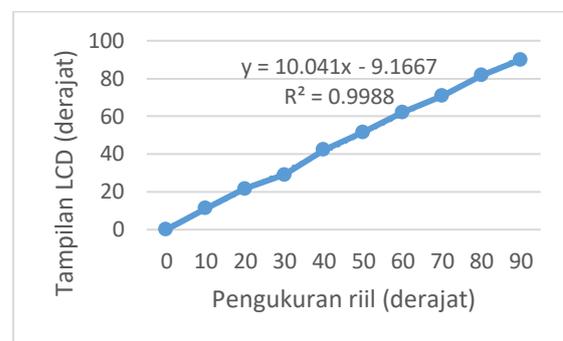
Validasi dilakukan dengan meletakkan busur derajat sejajar dengan busur pembidik dimana pengukuran dilakukan mulai sudut 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 dan 90 derajat. Adapun hasil

pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Validasi Sudut

No	Pengukuran riil (derajat)	Tampilan LCD (derajat)
1	0	0
2	10	11.3
3	20	21.7
4	30	29.1
5	40	42.3
6	50	51.5
7	60	62.2
8	70	70.8
9	80	81.7
10	90	90

Dari hasil pengujian diketahui bahwa persamaan yang dihasilkan yaitu $y = 10.041x - 9.1667$, dimana nilai R^2 diperoleh sebesar 0.9988. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran sudut pada alat bisa dilakukan secara akurat.



Gambar 7. Validasi Pengukuran Sudut.

III.5 Validasi Pengukuran Tinggi

Validasi pengukuran dilakukan setelah alat ini selesai diprogram. Validasi bertujuan untuk mengetahui seberapa akurat hasil pengukuran oleh alat ukur tinggi dan volume ini, dibandingkan dengan tinggi asli menggunakan alat ukur roll meter. Proses validasi alat dilakukan pada jarak 5 meter.

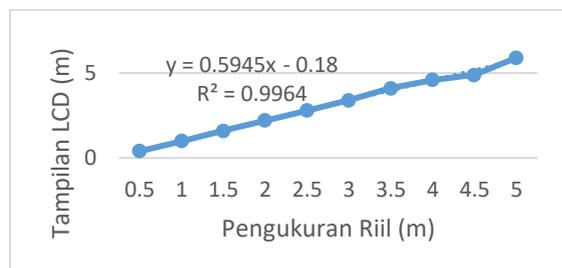
Proses pengujian akurasi tinggi dilakukan dengan membidik sasaran yang sebelumnya sudah diukur tinggi sebenarnya dan dintandai dengan kapur, serta Validasi pada jarak 5 meter dilakukan dengan

membidik sasaran dengan ketinggian 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m, 2.5 m, 3 m, 3.5 m, 4 m, 4.5 m dan 5 m. Hasil dari validasi tinggi dapat dilihat pada Tabel 2. sebagai berikut :

Tabel 2. Validasi Tinggi Pada Jarak 5 Meter

No .	Pengukuran Riil (m)	Sudut (derajat)	Tampilan LCD (m)
1	0.5	5.7	0.4
2	1	12.1	1
3	1.5	18.5	1.6
4	2	24.5	2.2
5	2.5	30.7	2.8
6	3	34.7	3.4
7	3.5	39.4	4.1
8	4	43.1	4.6
9	4.5	46.5	4.9
10	5	50	5.9

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa persamaan yang dihasilkan yaitu $y = 0.5945x - 0.18$, dengan R^2 sebesar 0.9964. Pada jarak 5 meter alat mampu berfungsi dengan baik, hal ini ditunjukkan dengan nilai R yang mendekati nilai 1. Pada jarak ini pengujian tidak mengalami kendala, karena pergerakan nyala laser dapat dilihat dengan jelas, namun setelah ketinggian lebih dari 2 meter pengujian dibantu menggunakan binokuler untuk menghasilkan data yang lebih presisi



Gambar 8. Grafik Validasi Pada Jarak 5 Meter.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa alat tukur tinggi dan volume pohon berbasis

mikrokontroler AT-MEGA 16 dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan rancangan dan dapat bekerja sesuai program yang dimasukkan. Alat ukur tinggi dan volume pohon berbasis mikrokontroler AT-MEGA 16 dapat digunakan untuk mengukur tinggi suatu pohon dengan jarak yang bervariasi, sesuai dengan fungsinya. Pengukuran pada berbagai jarak mampu menghasilkan data yang linier, hal ini ditunjukkan dengan nilai R^2 yang keseluruhan bernilai 0.9.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dosen pembimbing yang telah memberikan masukan ide kreatif dalam proses pembuatan alat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim^a. 2016. *Materi Lengkap Fungsi Trigonometri*. Diakses dari <http://www.rumus-matematika.com> pada tanggal 1 Agustus 2016.
- Anonim^b. 2016. *Rumus Luas Selimut dan Volume Kerucut Terpancung*. Diakses dari <http://www.matematika.com> pada tanggal 1 Agustus 2016.
- ATMEL. 2016. *ATMega16 Datasheet*. Diakses dari <http://www.atmel.com>. Pada tanggal 1 Agustus 2016.
- Eom I-Y, Kim J-Y, Kim T-S, Lee S-M, Choi D, Choi I-G, et al. *Effect Of Essential Inorganic Metals On Primary Thermal Degradation Of Lignocellulosic Biomass*. *Bioresour Technol* 2012;104:687–94.
- Gao M, Pan DX, Sun CY. *Study On The Thermal Degradation Of Wood Treated With Amino Resin and Amino Resin Modified With Phosphoric Acid*. *J Fire Sci* 2003;21:189–201.
- Khelfa A, Bensakhria A, Weber JV. *Investigations Into The Pyrolytic Behaviour of Birch Wood and Its*

- Main Components: Primary Degradation Mechanisms, Additivity and Metallic Salt Effects.*
J Anal Appl Pyrol 2013;101:111–21.
- Nelson, R., Boudreau, J., Gregoire, T.G., Margolis, H., Næsset, E., Gobakken, T., et al., 2009. *Estimating Quebec provincial forest resources using ICESat/GLAS.* International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 39, 862–881.
- Sugioka, Koji., Michael Meunier, Alberto Pique. 2010. *Laser Precision Microfabrication.* E-book by Springer Heidelberg Dordrecht London, New York, USA.
- Tian J., Le Wang dan Xiaojuan Li. 2015. *Sub-footprint Analysis to Uncover Tree Height Variation Using ICESat/GLAS.* International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 35 (2015) 284-293.
- Yorulmaz SY, Atimtay AT. *Investigation Of Combustion Kinetics Of Treated And Untreated Waste Wood Samples With Thermogravimetric Analysis.* Fuel Process Technol 2009;90:939–46.

EVALUASI MUTU BETON MENGGUNAKAN BETON INTI DIAMETER KECIL

EVALUTION OF CONCRETE BY USING SMALL CORE DIAMETER

Yulius Rakhman¹⁾, Herman Parung²⁾, Rita Irmawaty³⁾

¹⁾ Magister Student, Civil Engineering Department, Hasanuddin University, Makassar, Indonesia.

²⁾ Professor, Civil Eng. Dep., Hasanuddin University, Makassar, Indonesia.

³⁾ Associate Professor, Civil Eng. Dep., Hasanuddin University, Makassar, Indonesia.

Email address : yuliusurabaya@gmail.com, rita_irmaway@yahoo.co.id.

ABSTRAK

Salah satu penyebab keterbatasan pengambilan sampel beton inti karena keberadaan tulangan pada struktur beton. Jika digunakan diameter core besar, dapat menurunkan kapasitas struktur beton dengan adanya tulangan yang terpotong. Oleh karena itu, dilakukan studi penggunaan core beton diameter kecil untuk memprediksi kuat tekan beton diameter kecil terhadap silinder beton diameter standar. Benda uji berupa (a) silinder beton berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm; (b) 2 plat beton berdimensi 45cm x 45cm x 13cm; dan (c) 4 balok beton berdimensi 70cm x 30cm x 15cm. Metode pengambilan sampel core diameter 2 inchi dan 1 inchi dengan arah sejajar dan tegak lurus arah pengecoran. Ada 2 variasi mutu beton yaitu 20 MPa dan 30 Mpa dengan MSA masing-masing 10 mm dan 20 mm. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton dilakukan, serta uji normalitas beton inti untuk mengevaluasi kecukupan benda uji. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton inti 2 inchi dengan pengambilan benda uji sejajar dan tegak lurus arah pengecoran memenuhi syarat uji normalitas, sehingga dapat direkomendasikan dengan jumlah sampel 25 buah, sedangkan untuk sampel berdiameter 1 inchi jumlah sampelnya perlu ditambah.

Kata Kunci : beton inti, core drill, kuat tekan.

ABSTRACT

One of the causes of limited sampling on concrete structures is that there are reinforcement in the concrete structure, so that when using a large diameter drill core, can damage the concrete structure. Therefore a study of small diameter concrete was conducted to predict the compressive strength of cylindrical concrete. Test specimens in the form of concrete cylinders with dimension 10 cm x 20 cm, 2 concrete plates with dimension 45cm x 45cm x 13cm and 4 concrete beams with dimensions 70 cm x 30 cm x 15 cm by taking concrete using a drill core diameter of 2" and 1". Two concrete slabs and two concrete beams with concrete strength (f_c) 20 MPa (MSA 20mm and 10mm) while two concrete concrete slabs and two concrete beams with concrete strength (f_c) 30 MPA (MSA 20mm and 10mm). Types of tests carried out include testing the compressive strength of concrete, core concrete normality test, modulus of elasticity and compressive strength of the core concrete. From test results, can be concluded that the compressive strength of core concrete with sample in the direction of casting for a diameter of 2 inches and concrete strength of 20 MPa (MSA 20 mm and 10 mm) meets the requirements and can be recommended with number samples of 25, whereas for diameter 1" the number of samples must be added.

Keywords: *Concrete Core, core drill, compressive strength.*

I. PENDAHULUAN

Beton menurut ASTM C125-06a “Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates” didefinisikan sebagai bahan komposit dengan penyusun utamanya berupa partikel atau fragmen berbentuk agregat yang saling mengikat dan melekat. Kualitas beton dipengaruhi oleh banyak hal, diantaranya oleh material penyusunnya, komposisi campuran, cara pengerjaan, dan perawatan. ASTM C42-16 “Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Core and Sawed Beams of Concrete” (ASTM, 2016) menetapkan ukuran standar sampel beton inti yaitu berdiameter minimum 4 inci (100 mm).

Pada kenyataannya beton inti dengan diameter lebih kecil sering digunakan karena lebih mudah dalam pengerjaan, perawatan, dan penyimpanan, serta lebih cepat dibandingkan dengan ukuran standar. Beton inti berdiameter kecil juga lebih meminimalkan kerusakan struktur seperti tidak memotong tulangan yang ada pada suatu struktur dengan tulangan yang rapat dan menghasilkan lubang yang lebih kecil untuk dilakukan perbaikan. Permasalahan yang muncul kemudian adalah nilai kuat tekan dari beton inti berdiameter kecil mempunyai nilai koefisien variasi yang besar sehingga agak sulit untuk menentukan nilai kuat tekan yang sebenarnya.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yamamoto, et all (2013) penggunaan spesimen beton inti berdiameter kecil pada uji kuat tekan elemen struktur merupakan teknologi yang memberikan sedikit kerusakan pada struktur saat pengambilan sampel dilakukan. Namun, variasi hasil uji kuat tekan beton inti berdiameter kecil

menjadi besar dan sulit untuk mengevaluasi secara tepat nilai kekuatan tekannya dan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yamamoto, et all (2015) Kekuatan tekan inti berdiameter kecil cenderung lebih besar jika kadar volume agregat kasar dari spesimen lebih tinggi.

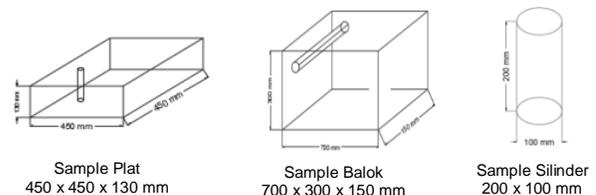
II. BAHAN DAN METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Pengambilan dan Pembuatan Sampel menggunakan Core Drilled Test ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

2.2 Desain Penelitian

Benda uji yang dibuat di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin adalah berbentuk plat ukuran 450x450x130 mm, balok ukuran 700x300x150 mm dan silinder ukuran 200x100 mm dengan 2 (dua) mutu yang berbeda ($f'c$ 20 Mpa dan $f'c$ 30 Mpa) dan 2 (dua) agregat kasar dengan MSA yang berbeda (MSA 10 mm dan MSA 20 mm). Gambar 1 menunjukkan desain benda uji.



Gambar 1. Desain Benda Uji

2.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dibantu oleh teman-teman mahasiswa S1 di Laboratorium Struktur dan Bahan departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Data yang diambil di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin adalah data dari hasil core drill Ø 2 inci, Ø 1 inci dengan metode pengambilan arah sejajar (plat beton) dan tegak lurus pengecoran (balok beton) serta beton silinder dengan cara pengujian kuat tekan, pengujian uji normalitas sampel beton inti, pengujian modulus elastisitas, dan evaluasi kuat tekan beton inti yaitu mencari faktor korelasi antara beton inti dengan beton silinder. Sampel yang diambil di laboratorium terbagi jadi 4 variasi yaitu variasi A ($f'c$ 20 MPa dan MSA 20 mm), Variasi B ($f'c$ 20 MPa dan MSA 10 mm), Variasi C ($f'c$ 30 MPa dan MSA 20 mm), Variasi D ($f'c$ 30 MPa dan MSA 10 mm).

III. HASIL PENELITIAN

3.1 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh faktor air semen, sifat dan jenis agregat, jenis campuran, kelecakan (workability), perawatan (curing) beton dan umur beton. Kuat tekan benda uji beton inti dihitung dengan menggunakan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana :

- $f'c$ = kuat tekan (MPa)
- P = beban uji maksimum yang ditunjukkan oleh mesin uji tekan (N).
- A = luas penampang benda uji (mm²).

Dari hasil rata-rata test nilai kuat tekan dari beton silinder usia 28 hari dengan nilai ditiap

variasi adalah sebagai berikut variasi A 21,25 MPa, variasi B 24,27 MPa, variasi C 33,82 MPa, variasi D 34,67 MPa.

Tabel 1 menunjukkan hasil kuat tekan dari beton inti pengambilan sampel sejajar arah pengecoran dengan diameter 2 inci dan 1 inci adalah sebagai berikut untuk diameter 2 inci variasi A 22,18 MPa, variasi B 26,98 MPa, variasi C 31,70 MPa, variasi D 33,06 MPa sedangkan untuk diameter 1 inci variasi A 20,06 MPa, variasi B 24,00 MPa, variasi C 27,15 MPa, variasi D 28,61 MPa dan hasil kuat tekan dari beton inti pengambilan sampel tegak lurus arah pengecoran dengan diameter 2 inci dan 1 inci adalah sebagai berikut untuk diameter 2 inci variasi A 20,44 MPa, variasi B 26,27 MPa, variasi C 29,25 MPa, variasi D 30,36 MPa sedangkan untuk diameter 1 inci variasi A 17,94 MPa, variasi B 23,94 MPa, variasi C 24,92 MPa, variasi D 27,70 MPa.

Tabel 1. Nilai Kuat Tekan Beton Inti dan Beton Silinder

Sampel	Beton Silinder (Mpa)	Beton Inti (Mpa)			
		Pengambilan Sejajar Arah Pengecoran		Pengambilan Tegak Lurus Arah Pengecoran	
		Ø 2 inci	Ø 1 inci	Ø 2 inci	Ø 1 inci
A	21.25	22.18	20.06	20.44	17.94
B	24.27	26.98	24.00	26.27	23.94
C	33.82	31.70	27.15	29.25	24.92
D	34.67	33.06	28.61	30.36	27.70

3.2 Pengujian Normalitas Beton Inti

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian normalitas beton inti dapat dilihat apakah dapat mencukupi atau tidak jumlah pengujian sebanyak 25 sampel disetiap variasi untuk menentukan nilai kuat tekan.

Tabel 2. Pengujian Normalitas Beton Inti

Sampel	Beton Inti (Mpa)	
	Pengambilan Sejajar Arah Pengecoran	Pengambilan Tegak Lurus Arah Pengecoran

	Ø 2 inci	Ø 1 inci	Ø 2 inci	Ø 1 inci
A	√	√	√	x
B	√	x	x	x
C	√	√	x	x
D	√	x	√	x

3.3 Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton menurut ASTM C469-02 adalah nilai tegangan regangan beton dalam kondisi elastis, pada saat tegangan menjadi 40% dari kuat tekan maksimum. Pengujian modulus elastisitas ini bertujuan untuk menentukan mutu beton yang disyaratkan modulus elastisitas dari sampel beton pada umur 28 hari. Rumus modulus elastisitas secara eksperimental dihitung dengan rumus:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (2)$$

Dimana :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

S_1 = Tegangan pada saat regangan longitudinal $\epsilon_1 = 0,00005$ (MPa)

S_2 = Tegangan pada saat 40% beban maksimum (MPa)

ϵ_2 = Regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2

Rumus modulus elastisitas secara teoritis dihitung dengan rumus :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c} \quad (3)$$

Dimana:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

f_c = Kuat tekan beton umur 28 hari (MPa) sementara untuk beton dengan nilai 1442 kg/m³ sampai 2563 kg/m³, dihitung dengan rumus :

$$E_c = W_c^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f_c} \quad (4)$$

Dimana :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

f_c = Kuat tekan beton umur 28 hari (MPa)

W_c = Berat volume beton (kg/m³)

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian modulus elastisitas adalah untuk melihat nilai modulus elastisitas secara eksperimental apakah lebih kecil atau lebih besar dari modulus elastisitas secara teoritis.

Tabel 3. Pengujian Modulus Elastisitas

Sampel	Pengambilan Sejajar Arah Pengecoran				Pengambilan Tegak Lurus Arah Pengecoran			
	Ø 2 inci		Ø 1 inci		Ø 2 inci		Ø 1 inci	
	Teoritis	Eksperimental	Teoritis	Eksperimental	Teoritis	Eksperimental	Teoritis	Eksperimental
A	18,029.46	20,505.74	20,060.37	22,607.79	19,242.49	21,230.93	19,666.21	20,213.23
B	21,963.27	23,141.00	20,441.29	24,481.08	21,631.84	18,012.28	21,510.18	43,798.21
C	23,500.80	25,150.04	22,443.55	27,197.69	25,001.87	-	24,582.99	26,395.20
D	24,509.61	26,382.03	23,795.06	28,202.56	20,685.74	31,183.00	26,457.50	39,214.54

standar diameter 10 cm. ASTM C42-12 mengatur

3.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Inti

Evaluasi kuat tekan beton inti dilakukan dengan membandingkan nilai kuat tekan antara beton inti berdiameter 2 inci dan 1 inci serta beton

dimensi penampang beton inti tidak boleh kurang dari dua kali MSA sedangkan pada BS-EN 12504-1:2000 menerangkan rasio MSA dalam beton terhadap diameter beton inti memiliki

pengaruh signifikan terhadap kuat tekan apabila nilainya lebih besar dari 1:3. Beton inti dengan MSA yang lebih kecil memiliki nilai kuat tekan yang lebih mendekati kuat tekan beton standar.

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian Evaluasi Kuat Tekan Beton Inti adalah untuk melihat Faktor Korelasi beton inti terhadap beton silinder.

Tabel 4. Faktor Korelasi Kuat Tekan Beton Inti

Sampel	Pengambilan Sejajar Arah Pengecoran		Pengambilan Tegak Lurus Arah Pengecoran	
	Ø 2 inci	Ø 1 inci	Ø 2 inci	Ø 1 inci
A	1.0364	1.1801	1.1013	1.3104
B	1.0205	1.1536	1.0815	1.1944
C	1.0364	1.1801	1.1013	1.3104
D	1.0205	1.1536	1.0815	1.1944

IV. PEMBAHASAN

Untuk pengambilan sampel secara tegak lurus maupun sejajar arah pengecoran, menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pada beton inti berdiameter 1 inci lebih kecil dibandingkan dengan beton inti berdiameter 2 inci. Hal ini menunjukkan bahwa beton inti dengan diameter 1 inci memerlukan faktor koreksi yang lebih besar dibandingkan dengan beton inti berdiameter 2 inci.

Untuk pengambilan sampel secara tegak lurus maupun sejajar arah pengecoran, menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pada beton inti berdiameter 1 inci dan 2 inci untuk agregat dengan MSA 20 mm lebih kecil dibandingkan dengan beton inti berdiameter 1 inci dan 2 inci untuk agregat dengan MSA 10 mm.

Untuk pengambilan sampel secara sejajar arah pengecoran, menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pada beton inti berdiameter 2 inci untuk mutu $f'c$ 20 MPa lebih besar dibandingkan dengan uji silinder standar Ø 10 cm sedangkan untuk beton inti berdiameter 2 inci untuk mutu $f'c$

30 MPa, beton inti berdiameter 1 inci untuk mutu $f'c$ 20 MPa dan $f'c$ 30 MPa lebih kecil dibandingkan dengan uji silinder standar Ø 10 cm.

Untuk pengambilan sampel secara sejajar arah pengecoran, menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pada beton inti berdiameter 2 inci untuk mutu $f'c$ 20 MPa lebih besar dibandingkan dengan uji silinder standar Ø 10 cm sedangkan untuk beton inti berdiameter 2 inci untuk mutu $f'c$ 30 MPa, beton inti berdiameter 1 inci untuk mutu $f'c$ 20 MPa dan $f'c$ 30 MPa lebih kecil dibandingkan dengan uji silinder standar Ø 10 cm.

Untuk pengambilan sampel secara tegak lurus arah pengecoran, menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pada beton inti berdiameter 2 inci untuk mutu $f'c$ 20 MPa (variasi B) lebih besar dibandingkan dengan uji silinder standar Ø 10 cm sedangkan untuk beton inti berdiameter 2 inci untuk mutu $f'c$ 20 MPa (variasi A), beton inti berdiameter 2 inci untuk mutu $f'c$ 30 MPa, beton inti berdiameter 1 inci untuk mutu $f'c$ 20 MPa dan $f'c$ 30 MPa lebih kecil dibandingkan dengan uji silinder standar Ø 10 cm.

Untuk pengambilan sampel secara sejajar arah pengecoran, menunjukkan bahwa faktor korelasi untuk beton inti 2 inci dengan MSA 20 mm sebesar 1,0364, untuk MSA 10 mm sebesar 1,0205, sedangkan faktor korelasi untuk beton inti 1 inci dengan MSA 20 mm sebesar 1,1801, dan untuk MSA 10 mm sebesar 1,1536 untuk menyamakan dengan nilai kuat tekan beton silinder 10 cm untuk mutu beton antara 20 MPa hingga 30 MPa.

Untuk pengambilan sampel secara tegak lurus arah pengecoran, menunjukkan bahwa faktor korelasi untuk beton inti 2 inci dengan MSA 20 mm sebesar 1,1013, untuk MSA 10 mm sebesar 1,0815, sedangkan faktor korelasi untuk beton inti 1 inci dengan MSA 20 mm sebesar 1,3104, dan untuk MSA 10 mm sebesar 1,1944, untuk menyamakan dengan nilai kuat tekan beton

silinder 10 cm untuk mutu beton antara 20 MPa hingga 30 MPa.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kami menyimpulkan bahwa yang memenuhi dan direkomendasikan untuk mewakili kuat tekan beton inti adalah pengambilan sejajar dengan diameter 2 inci (f_c 20 MPa dengan MSA 20 mm dan MSA 10 mm) dengan jumlah sampel 25 buah, sedangkan untuk yang lainnya harus ditambah jumlah sampel untuk lebih mendekati dan saran yang dapat diberikan sebagai pertimbangan dalam penelitian lebih lanjut adalah perlu dipertimbangkannya jumlah benda uji yang lebih banyak dengan mengambil variasi ukuran benda uji bentuk plat dan balok.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M. Eng. dan Ibu Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT. atas segala bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan pada penelitian ini, pelaksanaan penelitian, sampai dengan penulisan tesis ini. Terima kasih untuk Istri dan anak tercinta beserta yang telah banyak memberikan dukungan, motivasi dan doa selama ini. Terima kasih kepada staf Laboratorium Struktur dan Bahan departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin serta para mahasiswa yang turut membantu sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] ACI 211.1-91 Standart Practice for Normal, Heavyweight and Mass Concrete.

- [2] ACI 214.4R-03 Guide For Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Result.
- [3] American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standart: Volume 04.02, Concreate and Aggregate. US and Canada. 2003. American Society for Testing and Material. *ASTM Standart: C125-06a, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.*
- [4] American Society for Testing and Material. *ASTM Standart: C42-16, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Core and Sawed Beams of Concrete.*
- [5] SNI 03-1974-1990 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- [6] SNI 03-3403-1994 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti Pemboran.
- [7] SNI 03-2492-2002 tentang Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti.
- [8] SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
- [9] Yamamoto, Daisuke., Hamada, Hidenori., Sagawa, Yasutaka., Hiromitsu, Toshiumi. Evaluation of Compressive Strength of Concreate Using Small Diameter Core. Journal 3rd International Conference on Sustainable Construction Materials & Technologies – SCMT3. Kyoto Research Park, Kyoto, Japan: 2013.
- [10] Yamamoto, Daisuke., Hamada, Hidenori., Sagawa, Yasutaka. Variation and Its Suppression Method of Compressive Srength Obtained by Small Diameter Core Specimen. Jounal 40th Conference on Our World in Concrete & Structures. Singapore: 2015.