

PROCEEDING OF CHEMISTRY CONFERENCES

Vol 2 (2017)

**Lectures and Workshop:
In Series of Nanotechnology and Nanomaterial
"Plasma Science and Technology for
Nanomaterial Engineering"**

**November 3-4, 2016
Suarakarta, INDONESIA**

**Special edition:
Publishes short-review articles
in Nanotechnology and Plasma topics**

**Published by:
Sebelas Maret University**

ISSN: 2541-108X

CONTENTS

Cover	i
Contents	ii
Welcoming speech	iii
Organizing committee	iv
List of article in prosiding	v

Welcome Speech from Committee and Head of Chemistry Department

Sebelas Maret University

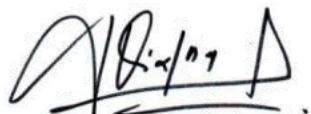
We are very pleased to introduce Lectures and Workshop: In Series of Nanotechnology and Nanomaterial Plasma Science and Technology for Nanomaterial Engineering held by Chemistry Dept. of Sebelas Maret University on behalf of the Chemistry Consortium in Central Java, Indonesia in Surakarta on November 3-4, 2016. The scientific meeting covered lectures in Nanotechnology and Nanomaterial fields in special topics on Plasma Science and Technology. We published articles presented in this meeting in Proceeding of Chemistry Conferences vol 2 (2017).

We do hope the meeting and the proceeding will provide a significant contribution on science and technology to national the development.

Surakarta, June 2017

Head of Chemistry Department UNS

Chairman



Dr.Triana Kusumaningsih, M.Si



Teguh Endah Saraswati, M.Sc., Ph.D

ORGANIZING COMMITTEE OF
Lectures and Workshop: In Series of Nanotechnology and Nanomaterial
Plasma Science and Technology for Nanomaterial Engineering
November 3-4, 2016

Conference Advisory Board:

- Prof. Masaaki Nagatsu (*Shizuoka University, Japan*)
- Dr. Raman Bekarevich (*NIMS, Japan*)
- Dr. Muh. Nur, DEA (*Diponegoro University, Indonesia*)
- Dr. Triana Kusumaningsih (*Sebelas Maret University, Indonesia*)
- Dr. Fajar Rakhman Wibowo (*Sebelas Maret University, Indonesia*)

Scientific Committee:

PUBLICATION, PROCEEDING AND DOCUMENTATION:

- Dr. Fitria Rahmawati, *Sebelas Maret University*
- Teguh Endah saraswati, PhD, *Sebelas Maret University*

Organizing committee:

General Chair	Teguh Endah Saraswati, M.Sc., Ph.D. (<i>Sebelas Maret University</i>)
Secretary	Kartiko Nugroho, S.Si
Treasurer, Venue & Facilities	Oktaviana Dewi Indah Prasiwi, S.Si Anis Robi Astuti
Secretariat and registration	Kartiko Nugroho, S.Si Erlina Arikawati, S.Si
Technical program committee	Rachmat Eka Jaya, S.Si Nana Rismana
Poster program committee	Nela Fitri Sari, S.Si Patimah, S.Si
Instrument Workshop	KEYENCE

**List of published articles in
Proceeding of Chemistry Conferences Vol 2 (2017)**
[\(https://jurnal.uns.ac.id/pcc/\)](https://jurnal.uns.ac.id/pcc/)

Invited paper

Joule Heat-Assisted Loading of an Individual Gold Nanoparticle into Carbon Nanotube 1-7

Raman Bekarevich*, Masami Toyoda, Shuichi Baba, Kaifeng Zhang, Toshihiko Nakata, Shin-ichi Taniguchi, Kaori Hirahara

Nanotechnology and Nanomaterial

Ball Milling Method for Nanomaterial Fabrication and Structures Modification 8-16

Oktaviana Dyah Mayasari*, Fitri Siti Sholikhah, Khofifah Cyntia Laras, Nikmatuz Zuhriini Azizah, Nurul Fatimah, Salma Akramia, Vanani Nur Rizki, Teguh Endah Saraswati

Chemical Vapor Deposition (CVD) on Nanomaterial Synthesis 17-28

Dwi Ardiyanti*, Arikasuci Fitonna R, Dwi Ni'maturrohmah, Khilyatin Ulin N, Septi Maulidina, Yosef Rio Kristiawan, Teguh Endah Saraswati

Micro- and Nano-lithography Techniques and Its Application 29-41

Afifah Nur Aisyah, Alifia Harista Rachma, Anis Robi Astuti, Intan Silvianingrum, Putri Puspitasari, Santi Ramadani, Syaiful Ichsan*, Teguh Endah Saraswati

Sputtering as Thin Layer Deposition Technique 42-52

Ika Nurawanti*, Lila Yunita, Putri Luthfiana S, Putri Rahmawati, Santika K P, Sri Mulyatmi, Teguh Endah Saraswati

Applications of Scanning Probe Microscope (SPM) for Material Deposition and Characterization 53-65

Alika Nuraini*, Bima Prakosa N T, Fitri Nur A, Meyta Dyah P, Nana Rismana, Widy Astuti, Yuli Astutik, Teguh Endah Saraswati

Plasma Science

AC Plasmacluster: How Does It Work? 66-73

Betty Nurhayati*, Elsanty Nur Afifah, Indah Retnosari, Lia Fatawati, Ucik Refani

Introduction to Plasma TV	75-79
Alfianita Utama P*, Nana Rismana, Ajeng Aullia Martina, Diah Ayu Rivani, Faradilla Prabasiwi Ainurrohma, Inayatun Farichah	
Plasma Cleaning on Metals	80-85
Anis Robi Astuti*, Arum Anindyan Kusumaningtyas, Oktaviani Nur Aniza, Rizqi Akbar Tedra, Tika Diah Utami, dan Teguh Endah Saraswati	
Plasma Sterilization of <i>Escherichia coli</i>	86-93
Annisa Syam, Aufara Mahayum*, Bondan Mutiara Wildam Sunardi, Era Putri Anandita, Syahna Febrianastuti	
Wastewater Treatment Using Corona Discharge	94-100
Muhammad Jefri Dwi Nugroho*, Annisa Dinan Ghaisani, Elsa Ninda Karlinda Putri, Jessica Primanita Ramadhani, Octaria Priwidyasari, Rafinda Marsha Aliestyani	

Joule Heat-Assisted Loading of an Individual Gold Nanoparticle into Carbon Nanotube

Raman Bekarevich^{1,2*}, Masami Toyoda¹, Shuichi Baba³, Kaifeng Zhang³,
Toshihiko Nakata³, Shin-ichi Taniguchi³, Kaori Hirahara¹

¹Center for Atomic and Molecular Technology, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, 565-0871 Japan

²Global Research Center for Environment and Energy based on Nanomaterials Science,
National Institute for Materials Science, 1-2-1 Sengen, Tsukuba, 305-0047 Japan

³Research & Development Group, Hitachi, Ltd.,
292 Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama, 244-0817 Japan

*E-mail: bekarevich.raman@nims.go.jp

Abstract. Additive manufacturing technologies develops rapidly. In our days, there are techniques allowing to create three dimensional (3D) structures with hundred nanometer resolution, it is also possible to manipulate with single atoms, but there is no techniques allowing to create structures in between of these dimensions. A carbon nanotube pen-injector can work at this scale, but because of limited volume of metal which can be loaded into the CNT container there is a need for refilling the CNT cartridge. Here we demonstrate a possibility to load an individual gold nanoparticle into the CNT nozzle and discuss on the key parameters affecting the loading process. Understanding of the processes occurring at interface between CNT injector and gold nanoparticle is necessary for successful CNT refilling.

Keywords: Joule Heat, gold, nanoparticle, carbon nanotube

1. Introduction

The synthesis of three dimensional (3D) objects by layer-by-layer deposition of binder material with inkjet printing heads is known as additive manufacturing (AM) or 3D printing. The rapid development of AM technologies in recent years yielded broad industry applications. The high precision of AM processes allows it to be implemented in the aerospace, automobile, biomedical and energy fields [1]. It is envisioned that 3D printing will provide a powerful tool for fabricating 3D nanoscale structures. However, it is necessary to develop a new AM technique possessing the nano- or subnanometer accuracy. Lee and Kim [2] proposed a nanojet system with metal capillary as a nozzle, allowing to print droplets with few hundred nanometers in diameter. Existing AM techniques based on scanning probe lithography demonstrate a possibility to draw lines with a width about 100 nm and height of tens nanometers [3]. On the atomic scale level scanning tunneling microscope has evolved into a powerful tool for manipulations of single atoms [4-5]. However, this technique become not so efficient for the fabrication of nanometer scale features containing thousands of atoms [6]. Therefore, there is a need to develop a technology to fabricate 3D structures smaller than 100 nm, but larger then single atom features. On this scale Kral and Tomanek proposed to use carbon nanotubes (CNTs) to function as atomic pump [7]. In their model, hot electrons created by a laser would drive material contained inside a carbon nanotube. Later on, with progress in transmission electron microscopy (TEM) and particularly *in situ* TEM, the keen of interest was

shifted to mass-transport through a two terminal connected CNT under an electric bias. The mass transport in copper, iron, gold filled CNTs were intensively studied *in situ* and theoretically as well [6,8-9]. However, the mechanism of the mass transport actuated by electric bias is still under consideration [10]. For a metal-filled multi-walled CNT (MWCNT) bridged and electrically biased between two electrodes, three primary mass transport mechanisms have been considered: thermal evaporation, thermomigration, and electromigration [11]. The electromigration force, the most studied driving force for metals sheathed inside CNTs [6,10], was utilized for controlled mass-transport trough the CNT channel [10]. In that work, an individual MWCNT was placed in contact with two noble metal electrodes to form a circuit, then a voltage was applied and gold electrode melted close to the gold–CNT interface due to Joule heating. Then, after few minutes of biasing the melt entered the CNT channel along the direction opposite to the current flow. Melinte et al. [12] also utilized the electromigration force to transfer the iron nanoparticles from CNT reservoir onto few-layer graphene. Fan et al. [13] demonstrated a possibility to create 3D nanoscale structures with diameters comparable to the diameter of the copper-filled CNT used as the pen injector. Despite the promising results, fabrication of 3D metal nanostructure is still a technical challenge. One of the biggest problems arise from the fact that CNT container cannot accumulate enough material to fabricate complex metallic nanostructures. Therefore, a method of refilling of the CNT container need to be developed. Fan et al. [13] also succed to reverse the electromigration force to refill the CNT cartridge. However, in general the thermal gradient effect dominates the mass migration until some critical value of external bias [10,12-13]. Due to this fact the temperature in the middle part of bridged CNT drastically increases [14] and leads to sever damages of CNT injector due to carbon sublimation [15]. One of the solution of the aroused problem is shift of the point of the highest temperature away from the CNT injector [16]. This shift was realized through a connection between an open-ended MWCNT and an isolated gold nanoparticle located on a thin supportive CNT. It has been demonstrated a possibility of length selective filling of host CNT by this method. However, the physical mechanisms of metal loading into the CNT by this method is still not clear. It was demonstrated that elongation of gold nanorod encapsulated into CNT occurs mainly due to coalescence of nanoparticles [17], but it is also necessary to explain the mechanisms of initial loading, because this step is crucial for whole loading process.

2. Experimental procedure

The experimental procedure has been previously reported elsewhere [16-17]. CVD-made MWCNT has been secured at the tip of AFM-cantilever [18-19] and used as a container for gold loading after inner layers were pulled out [20]. Arc-discharge-produced DWCNTs have been aligned at the very edge of sharpen electrode [21] and acted as support for gold nanoparticles. Cantilever with host CNT and electrode with supportive DWCNTs were placed in piezo-driven TEM manipulator and connected in the chamber of transmission electron microscope (TEM) JEOL JEM 2500F operated at 90 kV to avoid damage of CNTs by electron irradiation. Electrical current was passed through the obtained circuit to induce Joule heating of the connection. All the experiments were recorded by a slow-scan CCD camera (Gatan USC 1000) with a frame rate of 0.3 s per frame.

3. Results and discussion

As has been reported in [16], a typical procedure for the first nanoparticle loading can be described as follow. After establishing a contact between the open-ended host MWCNT and the supportive DWCNT, voltage was applied and increased until the gold nanoparticles on the DWCNT began

to coalesce and reached diameters roughly matching the inner diameter of the open-ended MWCNT. At the same time, outer layers of Au-NP melted and the surface area of the Au-DWCNT interface decreased, causing the interaction force between the gold nanoparticles and supportive DWCNT to decrease. After nanoparticle formation, we slightly adjusted the positioning of the open tip of the host MWCNT so that it was located in front of a gold nanoparticle. The voltage was then increased until molten gold particles migrated and entered inside the opened MWCNT driven by the impact of thermal gradient.

However, it is necessary to note that it is not only one possible process occurring while we try to encapsulate the initial nanoparticle. Loading of the first gold nanoparticle (Au-NP) can be realized in several different ways. Conditionally it is possible to separate the loadings processes into two groups: mechanical loading and loading due to mass-transport effects. Combination of these types of loading is also possible.

In the case of mechanical loading the beginning of the process (*i.e.* nanoparticle formation) is exactly same as described above (Fig. 1 a-e). Then if gold nanoparticles with diameter a little smaller than inner diameter of host CNT is perfectly positioned in front of open-end of MWCNT (Fig. 1 f), it can be simply inserted into the interior of host CNT by mechanical pushing (Fig. 1 g). Then, after applying a bias voltage encapsulated nanoparticle can be immobilized into MWCNT and separated from supportive CNT by mechanical breaking the contact (Fig. 1 h-m).

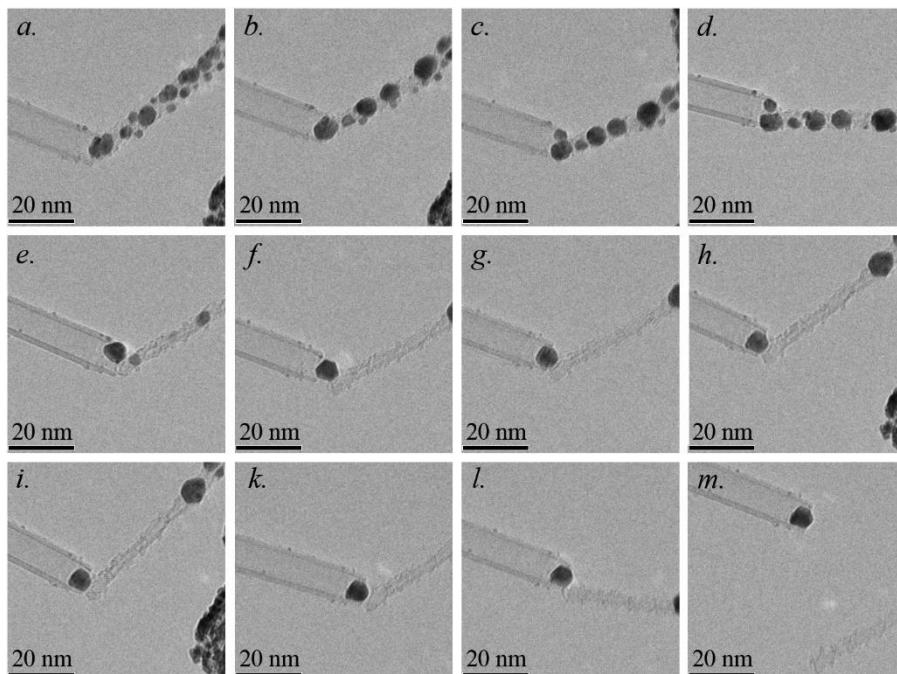


Figure 1. Joule heat assisted mechanical lording of gold nanoparticles

Other interactions at the interface DWCNT-gold-MWCNT occurs due to mass transport effects. The case when a gold nanoparticle locates relatively far from the open end of host CNT or the size Au-NP

is much larger than diameter of the host CNT. In this situation, high current induces Joule heating of the system up to the very high temperatures. This leads to sublimation of the nanoparticles decorating the supportive CNT. In Fig. 2 we can observe nanoparticle contacted to the outer side of host CNT. In Fig 2 a-c we can see how nanoparticles located close to the point of the highest temperature disappeared due to thermal migration of gold atoms along the supportive CNT. The nanoparticles located closer to the host CNT became bigger because of the mass-transport (Fig. 2 b), but at some moment, atoms from shrinking nanoparticles move not to the farthest nanoparticle on supportive CNT, but to host CNT directly (Fig. 2. c-d). We suppose it happens because the temperature already increased too much and small nanoparticles experience the explosive sublimation. Later on, with further increasing of the bias voltage, and as a result more intensive heat, the biggest nanoparticle which we supposed to load inside the host CNT also sublimated in explosive manner (Fig. 2 f). Sub-nanosized gold particles uniformly distribute on the inner and outer surface of the host CNT. This case is almost unsuitable for nucleation of the encapsulated gold crystal unless some of gold nanoparticles remains at the very tip of host CNT. In this situation gold atoms may work as a nucleation centers at further contacts.

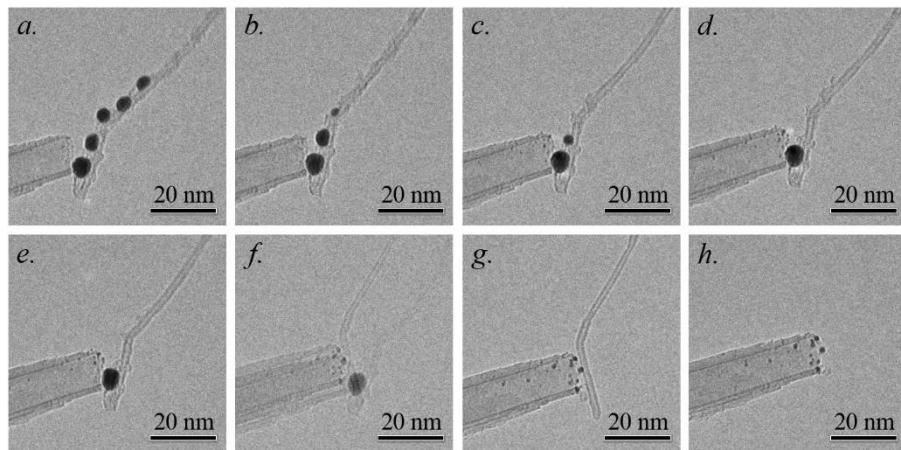


Figure 2. Explosive sublimation of gold nanoparticle due to intensive Joule heat.

In the case when an Au-NP located in front of the open end of host CNT and has appropriate size (less or equal to the diameter of host CNT) there are two ways of gold loading: “forced” and “mild”. Forced loading. Exactly this way of loading was described in our previous report [16]. In this case loading occurs at relatively high values of the voltage and the current which can reach several tens of mA and create the strong temperature gradient forcing whole nanoparticle into the interior of host CNT. If positioning of an Au-NP and the open end of host CNT is not performed well, the forced loading transforms to the sublimation of gold nanoparticles (Fig. 2). From this we can conclude that it is crucial to have a correct positioning of gold nanoparticles before the applied voltage will be increased. Combination of mechanical and forced loadings is also observed, but it takes place mainly in the situations when initial position was not perfect from the beginning and final adjustment was done after the high voltage was applied.

Mild loading. In contrast to the reported “mild” elongation of encapsulated nanowire [16], which occurs generally because of encapsulation of gold nanoparticles [17], mild loading of the first nanoparticle has different nature. In this case, values of the current are rather small in comparison to the previous situation. Loading of gold inside the host CNT looks like a flow of gold atoms from an Au-NP inside the CNT (Fig. 3). We suppose that in this case a proper balance between all the factors is established and really controlled thermomigration takes place. Mild loading looks more preferable, however in the most cases the forced loading was observed because many parameters affect the loading process and tend to unbalance the system.

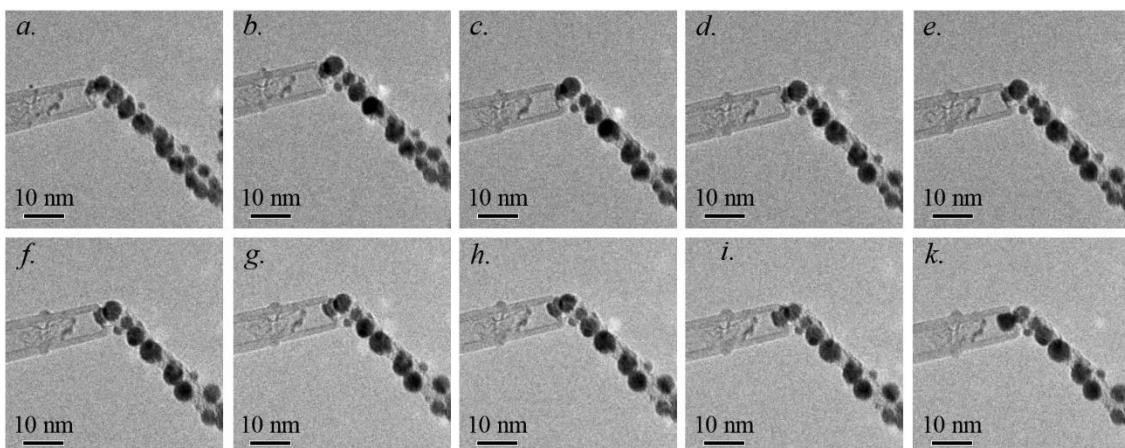


Figure 3. Mild loading of initial nanoparticle because of thermomigration of liquid shell

4. Conclusions

There are many possibilities how the gold nanoparticle will behave at the connection point under Joule heating depending on the nanotubes and nanoparticles sizes, its position, the rate on Joule heating. The key factors defining the behavior of nanoparticle are: the ratio between inner diameter of the host CNT and diameter of nanoparticle, mutual position of open end and gold nanoparticles, rate and intensity of Joule heating. If all the parameters are well-balanced it is possible to achieve the controllable thermomigration of gold nanoparticle into the interior of CNT container. However, in reality often some of parameters are not in ideal conditions, but the *in situ* TEM manipulation allows to make corrections in the loading process at any step, what will lead to successful loading the gold nanoparticle into the interior of CNT.

References

- [1] Guo, N., & Leu, M. C., 2013, Additive manufacturing: Technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, **8**(3), 215–243. doi:10.1007/s11465-013-0248-8
- [2] Lee, M., & Kim, H. Y., 2014, Toward nanoscale three-dimensional printing: Nanowalls built of electrospun nanofibers. *Langmuir*, **30**(5), 1210–1214. doi:10.1021/la404704z
- [3] Zhao, J., Swartz, L. A., Lin, W. F., Schlenoff, P. S., Frommer, J., Schlenoff, J. B., & Liu, G. Y., 2016, Three-Dimensional Nanoprinting via Scanning Probe Lithography-Delivered Layer-by-

- Layer Deposition. *ACS Nano*, **10**(6), 5656–5662. doi:10.1021/acsnano.6b01145
- [4] Lyo, I. W., & Avouris, P., 1991, Field-Induced Nanometer- to Atomic-Scale Manipulation of Silicon Surfaces with the STM. *Science*, **253**(5016), 173–176. doi:10.1126/science.253.5016.173
- [5] Uchida, H., Huang, D. H., Yoshinobu, J., & Aono, M., 1993, Single-atom manipulation on the Si (111) 7×7 surface by the scanning tunneling microscope (STM). *Surface science*, **287**, 1056–1061.
- [6] Svensson, K., Olin, H., & Olsson, E., 2004, Nanopipettes for metal transport. *Physical Review Letters*, **93**(14), 1–4. doi:10.1103/PhysRevLett.93.145901
- [7] Král, P., & Tománek, D., 1999, Laser-Driven Atomic Pump. *Physical Review Letters*, **82**(26), 5373–5376. doi:10.1103/PhysRevLett.82.5373
- [8] Golberg, D., Costa, P. M. F. J., Mitome, M., Hampel, S., Haase, D., Mueller, C., et al., 2007, Copper-filled carbon nanotubes: Rheostatlike behavior and Femtogram copper mass transport. *Advanced Materials*, **19**(15), 1937–1942. doi:10.1002/adma.200700126
- [9] Zhao, J., Huang, J. Q., Wei, F., & Zhu, J., 2010, Mass transportation mechanism in electric-biased carbon nanotubes. *Nano Letters*, **10**(11), 4309–4315. doi:10.1021/nl1008713
- [10] Zou, R., Zhang, Z., Liu, Q., Xu, K., Lu, A., Hu, J., et al., 2013, Melting of metallic electrodes and their flowing through a carbon nanotube channel within a device. *Advanced Materials*, **25**(19), 2693–2699. doi:10.1002/adma.201300257
- [11] Liu, Q., Zou, R., Bando, Y., Golberg, D., & Hu, J., 2015, Nanowires sheathed inside nanotubes: Manipulation, properties and applications. *Progress in Materials Science*, **70**, 1–49. doi:10.1016/j.pmatsci.2014.11.002
- [12] Melinte, G., Moldovan, S., Hirlimann, C., Liu, X., Bégin-Colin, S., Bégin, D., et al., 2015, Towards nanoprinting with metals on graphene. *Nature Communications*, **6**, 8071. doi:10.1038/ncomms9071
- [13] Fan, Z., Tao, X., Fan, X., Zhang, X., & Dong, L., 2015, Nanotube fountain pen: Towards 3D manufacturing of metallic nanostructures. *Carbon*, **86**, 280–287. doi:10.1016/j.carbon.2015.01.043
- [14] Kawabe, E., Itaya, S., Hirahara, K., & Nakayama, Y., 2012, Temperature Dependent Resistance of Multi-Wall Carbon Nanotube. *Japanese Journal of Applied Physics*, **51**, 06FD25. doi:10.1143/JJAP.51.06FD25
- [15] Begtrup, G. E., Ray, K. G., Kessler, B. M., Yuzvinsky, T. D., Garcia, H., & Zettl, A., 2007, Probing nanoscale solids at thermal extremes. *Physical Review Letters*, **99**(15), 1–4. doi:10.1103/PhysRevLett.99.155901
- [16] Bekarevich, R., Toyoda, M., Baba, S., Nakata, T., & Hirahara, K., 2016, Refilling of carbon nanotube cartridges for 3D nanomanufacturing. *Nanoscale*, **8**(13), 7217–7223. doi:10.1039/C5NR08712K
- [17] Bekarevich, R., Toyoda, M., Zhang, K., Nakata, T., Taniguchi, S., & Hirahara, K., 2017, Coalescence of metal nanoparticles as the origin of nanocapillary forces in carbon nanotubes. *ACS Journal of Physical Chemistry*, **121**(17), 9606–9611. doi: 10.1021/acs.jpcc.7b01788
- [18] Akita, S., Nishijima, H., Nakayama, Y., Tokumasu, F., & Takeyasu, K., 1999, Carbon nanotube tips for a scanning probe microscope: their fabrication and properties. *Journal of Physics D: Applied Physics*, **32**(9), 1044–1048. doi:10.1088/0022-3727/32/9/316
- [19] Akita, S., & Nakayama, Y., 2002, Length adjustment of carbon nanotube probe by electron bombardment. *Japanese Journal of Applied Physics*, **41**(7B), 4887–4889. doi:10.1143/JJAP.41.4887
- [20] Fukuda, T., Nakajima, M., Liu, P., & Ahmad, M. R., 2008, Bringing the nanolaboratory inside

- electron microscopes. *IEEE Nanotechnology Magazine*, 2(2), 18–31.
doi:10.1109/MNANO.2008.925517
- [21] Nakayama, Y., Akita, S., Kishida, T., & Harada, A., 2005, Nanotube cartridge and a method for manufacturing the same. US6892432B2.

Metode *Ball Milling* untuk Fabrikasi dan Modifikasi Struktur Nanomaterial

(Ball Milling Method for Nanomaterial Fabrication and Structures Modification)

Oktaviana Dyah Mayasari*, Fitri Siti Sholikhah, Khofifah Cyntia Laras, Nikmatuz Zührini Azizah, Nurul Fatimah, Salma Akramia, Vanani Nur Rizki, Teguh Endah Saraswati

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126 Indonesia

*E-mail: octha.aiya@student.uns.ac.id

Abstrak. Ilmu Pengetahuan selalu mengalami perkembangan dari tahun ke tahun, khususnya di bidang teknologi. Salah satunya yang semakin dikembangkan adalah nanoteknologi yang diaplikasi dalam teknik preparasi nanopartikel. Nanopartikel lebih menarik karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan ukuran mikro. Salah satu metode pembuatan nanopartikel adalah *ball milling*. *Ball milling* merupakan metode penggilingan material menjadi super halus yang biasa dimanfaatkan untuk pembuatan cat, kembang api dan keramik. Dalam skala industri, *ball milling* dapat bekerja secara terus menerus. *Ball milling* dengan energi yang tinggi dapat menghasilkan partikel nano hingga ukuran 5 nm. Tipe *ball milling* yang banyak digunakan adalah *ball milling horizontal*, *industrial ball milling*, dan *planetary ball milling*, dimana keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Dalam artikel ini juga dijelaskan mengenai aplikasi metode *ball milling* dalam kehidupan sehari-hari.

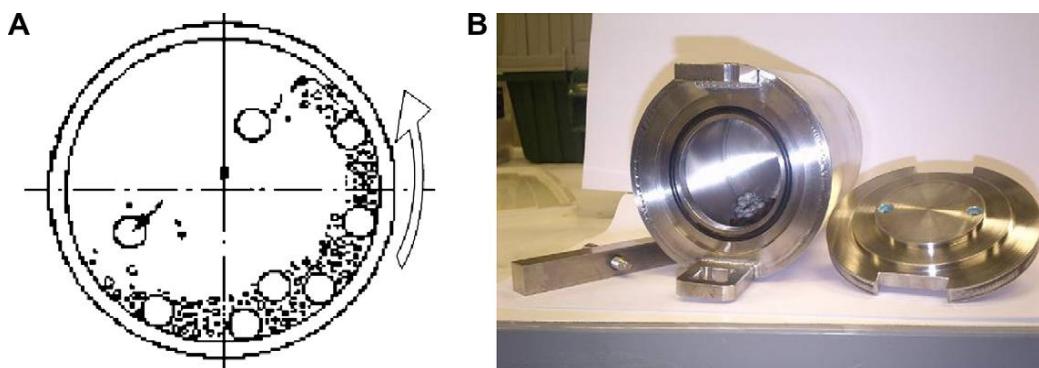
Kata kunci: nanopartikel, *ball milling*, metode, aplikasi

Abstract. Science has evolved considerably from year to year, particularly in the advances of technology. One of the technology being developed is nanotechnology which focuses on nanoparticles preparation technique. Nanoparticles are more interesting because it has more advantages compared with particles on a micro scale. One of the methods in nanoparticle preparation technique is ball milling. Ball milling method is used to grind materials into extremely fine powder for use in paints, fireworks and ceramic grinding. In an industrial scale, ball milling can work continuously. High energy of ball milling can grind mixture particles as small as 5 nm. The most common type of ball milling is horizontal ball milling, industrial ball milling, and planetary ball milling , which have their own advantages and disadvantages This article also explain the application of ball milling method in daily life.

Keywords: nanoparticle, *ball milling*, method, applications

1. Pendahuluan

Ball milling adalah metode yang digunakan untuk menggiling material menjadi serbuk halus yang digunakan dalam proses *grinding* pada industri cat, semen, kembang api dan keramik. Selama penggilingan, dihasilkan tekanan tinggi yang disebabkan oleh adanya tabrakan antara bola dengan material, yang ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Skema teknik ball milling (A) dan kontainer (B) [1].

Ball milling berputar melalui sumbu horisontal yang dipenuhi dengan material yang akan digiling dengan medium penggiling. Berbagai material yang dapat digunakan sebagai media seperti bola keramik, batu api, dan bola yang terbuat dari *stainless steel*.

Ball milling yang berkualitas tinggi dapat menggiling partikel campuran menjadi berukuran 5 nm, meningkatkan luas permukaan, dan meningkatkan laju reaksi. *Ball milling* dapat menggiling berbagai macam material baik basah ataupun kering.

Ball milling sebagai alat untuk menggiling berbagai material mempunyai beberapa tipe yaitu *horizontal ball milling*, *industrial ball milling* dan *planetary ball milling*. Berikut merupakan penjelasan dari tipe-tipe *ball milling*:

a. *Horizontal Ball milling*

Ball milling jenis ini biasa digunakan dalam industri, *ball milling* jenis ini memiliki alat pengukur waktu untuk melihat bahan yang di *grinding* dalam jangka waktu yang diinginkan.

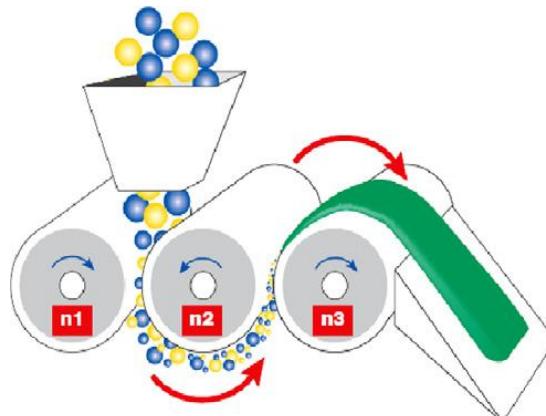
b. *Industrial Ball milling*

Ball milling jenis ini memiliki ukuran paling besar, ukurannya bervariasi mulai dari sebesar kulkas sampai sebesar bus sekalipun. Perbedaan utamanya terletak pada *chamber*, *ball milling* jenis ini memiliki beberapa *chamber*.

c. *Planetary Ball milling*

Ball milling jenis ini digunakan dalam skala laboratorium dan diaplikasikan untuk material sampel yang cocok untuk pekerjaan laboratorium. Menurut penelitian sebelumnya [2], material yang dapat digiling dengan *planetary ball milling* adalah mineral, *alloy*, bahan kimia, dan bahan alam.

Seiring dengan adanya perputaran, *ball milling* dapat menghasilkan gaya sentrifugal, *steel ball* akan terbawa pada ketinggian tertentu dan jatuh sehingga material tergiling. Setelah proses penggilingan dalam tempat penyimpanan pertama, material akan masuk dalam tempat penampungan kedua untuk kembali digiling dengan *steel ball* dan *scaleboard*. Pada akhirnya, material berupa serbuk akan dibawa ke papan penampungan produk akhir. Adapun mekanisme kerja *ball milling* dapat ditunjukkan dalam Gambar 2, dibawah ini:



Gambar 2. Proses *Ball Milling* [3].

Ada banyak jenis media *grinding* yang cocok untuk digunakan dalam *ball milling*, sifat utama media *grinding* adalah ukuran, densitas, kekerasan, dan komposisi [4]. Berikut adalah pengaruh dari ukuran, kepadatan, kekerasan, dan komposisi:

- Ukuran: Semakin kecil partikel media, maka semakin kecil ukuran partikel dari produk akhir. Pada saat yang sama, partikel media *grinding* harus secara substansial lebih besar dari potongan-potongan terbesar dari bahan yang akan digiling.
- Kepadatan: Media harus berbentuk padat. Karena jika media *grinding* tidak padat dapat mengapung di atas material yang akan digiling.
- Kekerasan: Media *grinding* harus keras untuk dapat menggiling bahan dalam waktu yang lama.
- Komposisi: Berbagai aplikasi *grinding* memiliki persyaratan khusus. Beberapa persyaratan ini didasarkan pada beberapa media *grinding* yang memiliki kandungan tertentu.

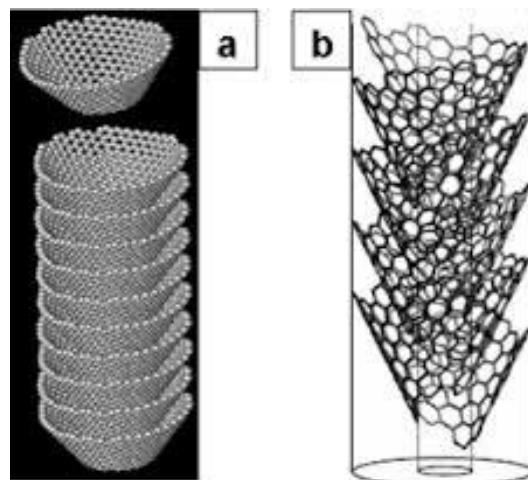
Ball milling telah digunakan untuk memodifikasi morfologi *cup-staked* nanotube karbon [5] yang ditunjukkan pada Gambar 3, yang menghasilkan nanopartikel karbon yang berbeda dari karbon *graphitic* untuk penyimpanan hidrogen [6], mengubah nanotube karbon ke nanopartikel [7], dan menghasilkan struktur karbon nano seperti cangkang yang melengkung atau tertutup dari grafit [8-10].

Kelebihan metode *Ball milling* diantaranya sebagai berikut :

- a. Penanganan peralatan mudah
- b. Dapat menghasilkan jumlah yang besar ketika diterapkan dalam berbagai tipe material yang berbeda
- c. Pada produksi dalam skala besar dapat menghasilkan partikel berukuran nano
- d. Sangat cocok untuk proses penggilingan basah maupun kering
- e. Dapat digunakan untuk menggiling bahan beracun, karena alat bekerja dalam kondisi tertutup

Kekurangan metode *Ball milling* diantaranya sebagai berikut :

- a. Konsumsi listrik yang tinggi
- b. Membutuhkan ruang yang luas, karena alatnya besar dan berat
- c. Kecepatan putar rendah
- d. Mesin mengeluarkan getaran dan suara selama proses kerjanya
- e. Bahan dapat terkontaminasi oleh bola maupun alat penggilingannya



Gambar 3. Cup-Staked [10].

2. Pembahasan

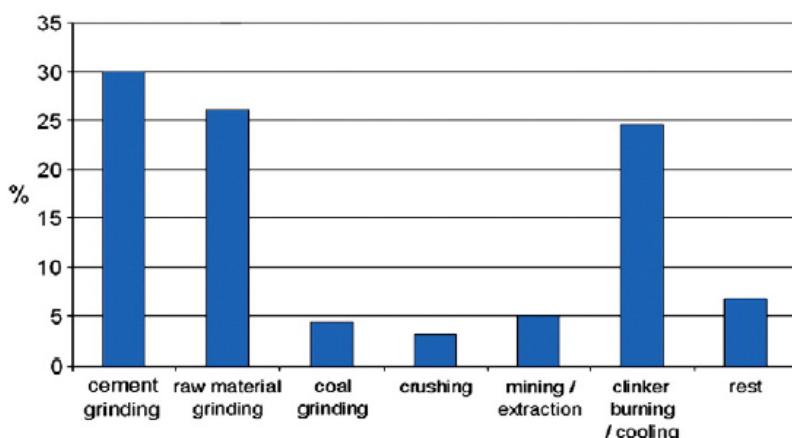
Berikut adalah beberapa aplikasi *ball milling* yang pernah digunakan di bidang industri maupun di laboratorium:

2.1 Semen

Metode *ball milling* telah digunakan selama lebih dari 100 tahun pada proses penggilingan di industri semen. Metode *ball milling* ini digunakan karena metodenya terpercaya dan memiliki beberapa kelebihan apabila digunakan dalam proses produksi semen dengan menggunakan metode *ball*

milling. Metode *ball milling* primer dioperasikan pada sirkuit penggilingan yang terbuka, kemudian ditambahkan suatu pemisah untuk menghasilkan kualitas semen yang lebih baik dalam sirkuit tertutup.

Efisiensi penggilingan merupakan suatu proses yang penting dalam industri semen. Parameter yang digunakan tidak hanya pada ukuran partikel, namun lebih pada distribusi ukuran partikel. Kelemahan yang mendasar metode *ball milling* yang digunakan pada produksi semen yakni tingginya energi yang diperlukan pada proses penggilingan. Dari sudut pandang teknologi, metode penggilingan memerlukan energi paling besar, dalam proses produksi semen, yakni sekitar 100 kWh/t semen, dimana 2/3 dari energi yang digunakan, untuk mereduksi ukuran partikel[11]. Berikut adalah persentase energi yang digunakan dalam proses produksi semen yang ditunjukkan dalam Gambar 4:

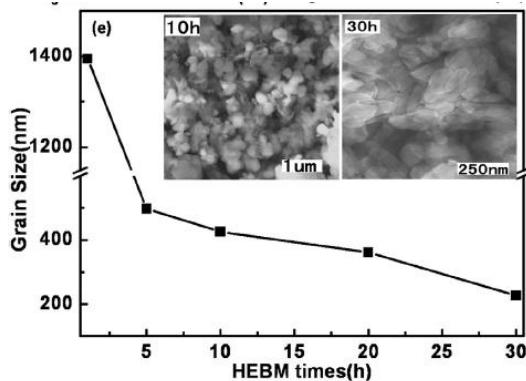


Gambar 4. Persentase penggunaan energi pada produksi semen [11].

Sistem penggilingan dengan tekanan yang tinggi, seperti *vertical roller mills* (VRM) atau *highpressure grinding rolls* (HPGR) mulai digunakan dalam penggilingan semen. Produksi semen dengan menggunakan tekanan yang tinggi, akan menghasilkan sifat semen yang berbeda, dalam hal distribusi ukuran partikelnya. Penggilingan material akan menghasilkan berbagai ukuran partikel [12]. Namun, tidak semua ukuran partikel relevan dengan aspek fisik dan kimia aplikasi semen.

2.2 Serbuk Keramik

Serbuk keramik CdWO₄ dibuat dengan *ball milling* berenergi tinggi dan *microwave dielektrik* (1-x) CdWO₄-xTiO₂ ($0 \leq x \leq 0.22$) komposit keramik yang telah diteliti. Bahan yang digunakan yaitu serbuk oksida kemurnian tinggi 99% yaitu CdO dan WO₃ serta serbuk TiO₂ dengan kemurnian 99%. Senyawa CdWO₄ disintesis dengan metode *High Energy Ball Milling*. *Tungsten carbide vial* dan *tungsten carbide ball* digunakan sebagai media penggiling. Penggilingan dilakukan dalam waktu 1-30 jam, massa dikeringkan pada suhu 25°C-150°C. Komponen di giling ulang selama 5 jam untuk mendinginkan komposisi. Setelah kering, serbuk dicampur dengan 5% PVA sebagai pengikat kemudian disaring menjadi berukuran 120 mesh dan ditekan menjadi pellet. Proses tersebut menghasilkan data seperti pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Kurva antara ukuran dan waktu penggilingan dengan penambahan gambar SEM campuran bahan penggilingan 10 jam, 30 jam, kemudian dikeringkan 125 °C [13].

Peningkatan waktu penggilingan akan menurunkan ukuran dari material. Campuran terdiri dari CdWO₄ dan Cd(OH)₂ dengan reaksi kimia antara CdO dan air panas. Peningkatan suhu dari 125°C -150°C mengakibatkan fase WO₃ dan Cd(OH)₂ menghilang dan diperoleh fase murni CdWO₄. Dibandingkan dengan metode penggilingan konvensional, ukuran partikel serbuk oleh *High Energy Ball Milling* bisa mencapai ukuran nanometer. Ketika menggunakan metode *ball milling* pada waktu 1-4 jam, ukuran partikel menurun secara signifikan dari 1,4 mm sampai 500 nm. Setelah menggunakan ball milling pada waktu 30 jam, ukuran partikel menurun menjadi 230 nm yang kemudian dikeringkan pada suhu 125°C sehingga terbentuk serbuk pembuat keramik CdWO₄[13].

2.3 Carbon Nanotube (CNT)

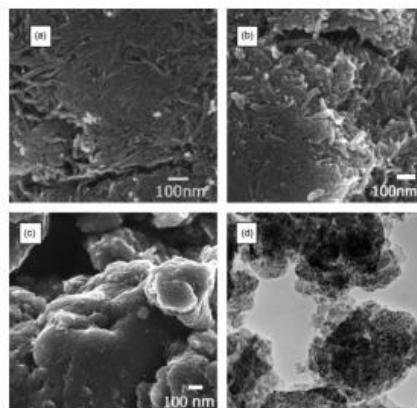
Carbon nanotube (CNT) berpotensi untuk aplikasi di dibidang teknik. Beberapa aplikasi elektronik memanfaatkan CNT sebagai nanokabel yang kuat. Proses katalitik deposisi uap kimia (CCVD) adalah metode yang paling praktis untuk produksi massal, yang dapat menghasilkan CNT yang panjang. Metode untuk mendapatkan panjang dan pendeknya CNT menurut [14] yaitu *acid etching*, *ultrasonic treatment*, *scanning tunnelling microscope* (STM), *voltage radiation treatment* dan *ball milling*. Di antara metode tersebut, *ball milling* menjadi proses yang paling sederhana untuk memecah CNT. *Ball milling* adalah metode yang baik untuk memecahkan dan membuka ujung tertutup CNTs.

Menurut penelitian sebelumnya [15] telah melakukan proses *ball milling* untuk mempersingkat dan membuka CCVD pada proses *multiwall carbon nanotube* (MWCNTs). Metode *ball milling* dilakukan dengan penggilingan kering dalam udara atau dalam ammonia dan penggilingan basah dalam etanol atau di dalam air. Penggilingan kering menggunakan *polycarbonate* CNT dengan bantuan zat adiktif, yakni Fe atau serbuk Fe₂O₃.

CNT dengan tipe terbuka akan memudahkan proses difusi dan reaksi kimia. Jika ujung CNT dalam bentuk tertutup maka akan menghalangi atom untuk melakukan difusi ke lubang interiornya. Hal yang perlu di perhatikan dalam aplikasi CNT adalah panjang pendeknya, tertutup atau terbuka, karena mempengaruhi proses mekanik, kimia dan transportasinya.

Dalam metode *ball milling* kering, MWNTs cenderung dipadatkan dengan bola dan membentuk aglomerat besar. Pada *ball milling* kering dalam waktu 30 menit, menunjukkan struktur karbon yang

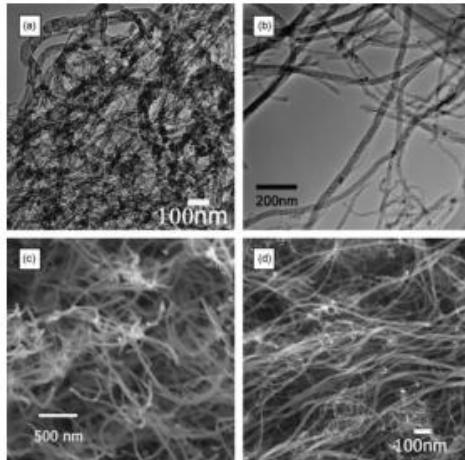
berlapis (Gambar 6a). Setelah 10 jam, struktur *nanotube* menjadi sangat halus (Gambar 6b). Setelah 30 jam, *nanotube* membentuk partikel berbentuk bulat (Gambar 6c dan 6d). Resolusi TEM yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar struktur grafit berlapis-lapis dengan daerah sebagian *amorf*. Hal tersebut dapat diperoleh dari *ball milling*, struktur secara bertahap berubah menjadi struktur berlapis karena tarikan *intersheet* antara sisi berlawanan dari dinding bagian dalam ketika gumpalan struktur karbon berlapis-lapis terbentuk. Bentuk struktur ketika berada di udara dan air sama.



Gambar 6. (a) struktur karbon berlapis (b) struktur nanotube yang sangat halus (c-d) struktur nanotube berbentuk bulat [15].

Hasil proses *ball milling* secara basah sangat berbeda dengan proses kering. MWCNTs menghasilkan panjang yang menurun secara bertahap (Gambar 7a dan 7b). Struktur *nanotube* berubah setelah diamati 150 jam. Hal ini disebabkan adanya fasa cair yang mengubah interaksi Van der Waals antara *nanotube*. Selain itu senyawa polar di permukaan *nanotube* seperti C-O, CO dan O-C O dengan etanol akan menghasilkan interaksi antar molekul yang kuat, sehingga dapat memotong *nanotube*. Akibatnya, *nanotube* pada kondisi awal jauh lebih baik dibandingkan dengan bentuk lurus. Hal tersebut dapat ditunjukkan seperti pada gambar Gambar 7c dan 7d dibawah ini:

Penggunaan nanopartikel CNT pada Li sebagai bahan anoda untuk baterai Li-ion merupakan aplikasi lain dari CNT. Dalam aplikasi tersebut digunakan SnO sebagai bahan untuk menggantikan grafit konvensional. Selain itu, digunakan kapasitas degradasi yang tinggi karena elektroda disintegrasikan oleh ekspansi volume. *Nanosized* SnO₂ diisi CNT sehingga dapat menawarkan banyak kelebihan dibandingkan *nanotube* dan SnO₂. Untuk SnO masalah dari ekspansi volume bisa diminimalkan. Hasil awal menunjukkan CNT *nanosized* yang diisi SnO₂ memiliki kapasitas tinggi. Karbon *nanotube* yang dihasilkan dari proses CVD katalitik dengan metode *ball milling* basah lebih baik dari *ball milling* kering. Metode *ball milling* secara kering lebih bersifat menutup struktur CNT dengan meminimalkan energi yang digunakan. Metode *ball milling* basah lebih membuka struktur CNT sehingga banyak dimininati dalam aplikasi penyimpanan lithium [15].



Gambar 7. (a dan b) Hasil dari MWCNTS dan (c dan d) *nanotube* pada kondisi awal dan berbentuk lurus [15].

3. Kesimpulan

Ball Milling adalah metode yang digunakan untuk menggiling bahan menjadi serbuk halus yang dibantu dengan tekanan tinggi. Terdapat 2 jenis *ball milling* yang sering digunakan yaitu *ball milling* biasa dan *planetary ball milling*. Kelebihan *ball milling* diantaranya penanganan peralatan mudah, dapat menghasilkan partikel berukuran nano dan dapat digunakan untuk menggiling bahan beracun, karena alat bekerja dalam kondisi tertutup. Kekurangan *ball milling* diantaranya konsumsi listrik yang tinggi, membutuhkan ruang yang luas, karena alatnya besar dan berat serta mesin mengeluarkan getaran dan suara selama proses kerjanya. Metode *ball milling* dapat diaplikasikan untuk membuat material seperti *Carbon Nanotube* (CNT), pembuatan serbuk keramik CdWO₄ dan proses penggilingan industri semen.

Referensi

- [1] Sushant, S., & Kamath, A., 2013, Methods of size reduction and factors affecting reduction in pharmaceuticals. *Int. Res. J. Pharm*, **4**, 57-64.
- [2] Wen-Tien, T., 2013, Microstructural Characterization of Calcite-Based Powder Materials Prepared by Planetary Ball Milling. *Materials* **6** 3361-3372.
- [3] Peng-Cheng, M., Naveed, A. S., Gad, M., Jang-Kyo K., 2010, Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites. *41*, 1345-1367.
- [4] Rhodes, M., 1998. Storage and Flow Powders-Hopper Design. *Introduction to Particle Technology Second Edition*, 265-292.
- [5] Kim, Y.A., Hayashi, T., Fukai, Y., Endo, M., Yanagisawa, T., & Dresselhaus, M. S., 2002, Effect of ball milling on morphology of cupstacked carbon nanotubes. *Chem. Phys. Lett*, **355**, 279–284.
- [6] Awasthi, K., Kamalakaran, R., Singh, A. K., & Srivastava, O. N., 2002, Ball-milled carbon and hydrogen storage. *Int. J. Hydrogen Energy*, **27**, 425–32.
- [7] Li, Y. B., Wei, B. Q., Liang, J., Yu, Q., & Wu, D. H., 1999, Transformation of carbon nanotubes to nanoparticles by ball milling process. *Carbon*, **37**, 493–497.

- [8] Chen, X. H., Yang, H. S., Wu, G. T., Wang, M., Deng, F. M., Zhang, X. B., Peng, J. C., & Li, W. Z., 2000, Generation of curved or closed-shell carbon nanostructures by ball-milling of graphite. *J. Cryst. Growth*, **218**, 57–61.
- [9] Huang, J. Y., Yasuda, H., & Mori, H., 1999, Highly curved carbon nanostructures produced by ball-milling. *Chem. Phys. Lett.*, **303**, 130–134.
- [10] Chen, Y., John, F. G., Lewis, T. C., & Laurent, C., 1999, Nanoporous carbon produced by ball milling. *Appl. Physi. Lett.*, **74**, 2782.
- [11] Tsalakis, K. G. & Stamboltzis, G. A., 2008, Correlation of the Blaine value and the d80 size of the cement particle size distribution. *ZKG*, **61**(3), 60-68.
- [12] Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., & Bolio, H., 2011, Sustainable cement productionpresent and future. *Cem. Con. Res.*, **41**, 642–650.
- [13] Guo, B., Peng, L., Tao, Y., & Huaiwu, Z., 2015, Thermal stable microwave dielectric properties of CdWO Ceramics prepared by high energy ball milling method. *J. Alloy. Compd.*, **650**, 777-782.
- [14] Li, Y. B., Wei, B. Q., Liang, J., Yu, Q., Wu, D. H., 1999, Transformation of carbon nanotubes to nanoparticles by ball milling process. *Carbon*, **37**(3), 493–497.
- [15] Ahn, J. H., Shin, H. S., Kim, Y. J., & Chung, H., 2006, Structural modification of carbon nanotubes by various ball milling. *J. Alloy. Compd.*, 428–432.

Chemical Vapor Deposition (CVD) dalam Sintesis Nanomaterial (Chemical Vapor Deposition (CVD) on Nanomaterial Synthesis)

**Dwi Ardiyanti*, Arikasuci Fitonna R, Dwi Ni'maturrohmah, Khilyatin Ulin N, Septi Maulidina,
Yosef Rio Kristiawan, Teguh Endah Saraswati**

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Kentingan, Surakarta, Indonesia, 57126*

*E-mail: dwiardiyanti@student.uns.ac.id

Abstrak. *Chemical Vapor Deposition (CVD)* adalah salah satu metode nanoteknologi untuk mendeposi dan mempersiapkan padatan pada permukaan material dengan kemurnian tinggi. Dalam hal ini, aplikasi yang akan dibahas yaitu deposisi *graphene* untuk pelapisan plat Cu, sintesis karbon nanofiber dan nanotube dan sintesis nanopartikel TiO₂. Sintesis *graphene* pada plat Cu menghasilkan partikel Cu yang lebih kuat, memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dan mengurangi kekasaran permukaan Cu. Sintesis karbon nanofiber dan nanotube diperoleh karbon nanofiber dan nanotube yang tidak memiliki cacat secara makroskopik dan memiliki diameter yang sama seperti pori-pori membran template. Sedangkan pada sintesis nanopartikel TiO₂, semakin meningkatnya konsentrasi prekursor maka ukuran utama partikel, ukuran aglomerat, dan kristalinitas partikel meningkat.

Kata kunci: CVD (*Chemical Vapor Deposition*), *graphene*, karbon nanofiber, karbon nanotube, nanopartikel TiO₂

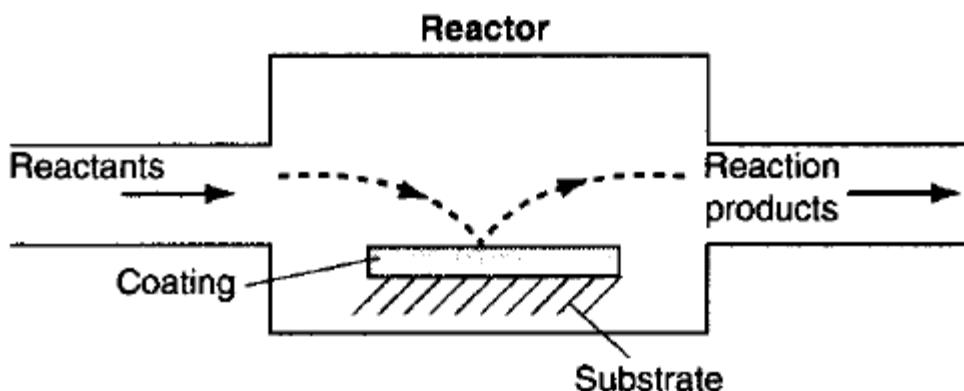
Abstract. *Chemical Vapor Deposition (CVD)* is one of the nanotechnology methods to deposit or prepare a solid on the material surface with high purity. This article discuss the deposition of *graphene* for coating Cu plate, synthesis of carbon nanofiber and nanotubes, and synthesis of nanoparticles. Synthesis of *graphene* on Cu plate produces more powerful Cu particles, has higher thermal conductivity and reduce the surface roughness of Cu. Synthesis of carbon nanofiber and nanotube produces carbon nanofiber and nanotube which have no macroscopic defects and have the same diameter as the membrane pores template. Meanwhile, in the synthesis of nanoparticles TiO₂, the higher the concentration of precursor, the higher the size of the primary particles, agglomerates size, and crystallinity of the particles.

Keywords: *Chemical Vapor Deposition (CVD)*, *graphene*, carbon nanofiber, carbon nanotube, nanoparticles TiO₂

1. Pendahuluan

Chemical Vapor Deposition (CVD) merupakan suatu proses pendeposisian dengan pengaliran uap pada substrat yang akan dilapisi. Dalam proses tersebut, komponen gas bereaksi di permukaan wafer dan membentuk lapisan tipis. Energi yang digunakan untuk pemecahan dan eksitasi molekul antara lain panas:

Thermal CVD, plasma: *Plasma Enhanced CVD (PECVD)*, radiasi: *Radiation Enhanced CVD*, dan *metal organic vapor deposition (MOCVD)*. Reaksi yang terjadi pada metode CVD adalah reaksi dekomposisi termal, reaksi reduksi, reaksi disproporsionasi, dan reaksi *couple* [1]. CVD merupakan teknik memodifikasi sifat permukaan komponen melalui rekayasa lapisan komponen dengan lapisan logam lain atau senyawa lain melalui reaksi kimia dalam fasa uap pada suhu tinggi [2]. CVD sangat banyak diaplikasikan dalam teknologi pembuatan material. Mayoritas aplikasi ini yakni melibatkan *coating* atau pelapisan padatan pada permukaan. Aplikasi lain dari CVD adalah untuk menghasilkan material bongkahan (*bulk material*) dengan kemurnian tinggi dan powder atau bubuk. Teknik CVD digunakan untuk pembuatan lapisan tipis (*thin film*), yang digunakan untuk industri mikroelektronik sebagai dielektrik, konduktor, lapisan passivasi, penghalang oksidasi, dan lapisan epitaksi. Produksi serat optik tahan terhadap korosi, dan tahan panas. Aplikasi lain dari teknik CVD adalah pembuatan material temperatur tinggi, seperti tungsten, keramik, pembuatan sel surya, pembuatan komposit serat temperatur tinggi, serta pembuatan superkonduktor [3].



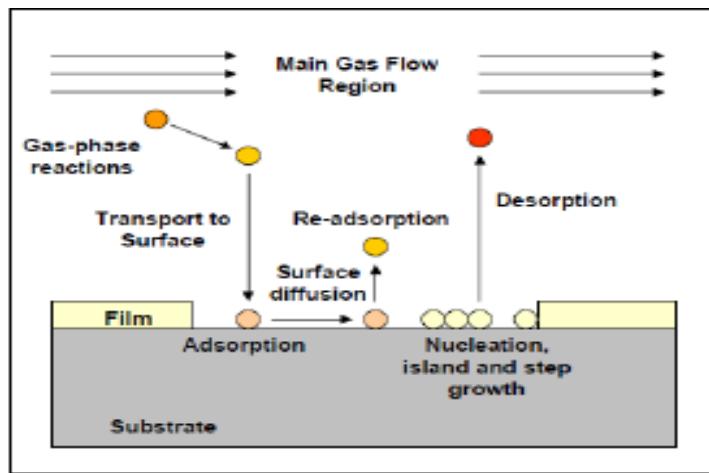
Gambar 1. Ilustrasi proses pada CVD [4].

Berdasarkan Gambar 1. Proses CVD pada dasarnya meliputi langkah-langkah [4]:

- Campuran gas reaktan dan pengencer gas inert dialirkan pada laju alir tertentu kedalam ruang reaksi
- Spesies gas pindah ke substrata atau bahan yang akan dilapisi
- Reaktan teradsorpsi pada permukaan substrat
- Reaktan mengalami reaksi kimia dengan substrat untuk membentuk film
- Gas produk sampingan dari reaksi terdesorbsi dan keluar reaktor

Selama proses pengendapan uap kimia, gas-gas reaktan tidak hanya bereaksi dengan bahan yang akan dilapisi, tetapi juga dalam fasa gas di dalam reaktor. Reaksi yang terjadi pada permukaan kernel yang akan dilapisi dikenal sebagai reaksi heterogen. Reaksi heterogen hanya pada bahan yang dipanasi dan membentuk lapisan pada permukaan bahan. Reaksi yang terjadi dalam fasa gas yang dikenal sebagai reaksi homogen. Reaksi homogen juga menghasilkan bahan-bahan lain yang jumlahnya banyak. Reaksi homogen fasa gas juga membentuk bahan yang juga akan terdepositasi pada permukaan dan pada saat yang

sama membentuk lapisan pada permukaan bahan yang dilapisi [5]. Mekanisme proses CVD dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Skema proses CVD [4].

Menurut [4] Dari gambar di atas terlihat bahwa proses deposisi uap kimia dapat dirinci menjadi beberapa langkah sebagai berikut:

- Transport dalam fase gas (konveksi, difusi dan perpindahan panas)
- Reaksi fase gas
- Difusi dari gas ke permukaan bahan
- Adsorbsi di permukaan benda
- Difusi pada permukaan dan reaksi
- Pemadatan dan penyatuan padatan membentuk lapisan dan
- Desorbsi gas volatil.

Proses di atas berjalan terus-menerus sehingga proses pelapisan dihentikan. Ada tiga jenis reaktor CVD, yaitu *low pressure* CVD (LPCVD) dilakukan pada temperatur 300 – 900°C, operasi pada permukaan terbatas dan temperaturnya rendah, *plasma-enhanced* CVD (PECVD) yang menggunakan sumber plasma, temperatur depositisnya lebih rendah yaitu 200 – 350°C, sangat bagus digunakan untuk aplikasi pembentukan film multilayer yang sensitif terhadap temperatur, dan *high density plasma* CVD yang menggunakan plasma dengan densitas tinggi, temperatur depositisnya lebih rendah yakni sekitar 20 – 150 °C, dibutuhkan tekanan yang lebih rendah sekitar 1 – 10 mTorr, kualitas film yang dihasilkan sangat bagus tanpa ada cacat atau gangguan [6].

2. Katalis yang Digunakan Dalam CVD

Catalyst Enhanced Chemical Vapor Deposition merupakan suatu metode yang digunakan untuk sintesis nanomaterial pada substrat yang memiliki sensitivitas termal dengan adanya katalis metal yang sesuai. Beberapa katalis tidak hanya menjamin deposisi berjalan pada temperatur yang sangat rendah

tetapi juga menghasilkan lapisan dengan kemurnian tinggi. Katalis yang banyak digunakan dalam CECVD antara lain:

2.1. Palladium

Palladium digunakan sebagai katalis yang memiliki aktivitas tinggi baik untuk hidrogenasi dan oksidasi. Selanjutnya katalis ini menyediakan permukaan aktif untuk CVD pada logam yang lain. [7], menggunakan kompleks palladium sebagai prekursor pada CECVD untuk *Yttria* (Y_2O_3) dan *Zirconia* (ZrO_2). Prekursor ini berfungsi menurunkan temperatur *coatings Yttria* (Y_2O_3) dan *Zirconia* (ZrO_2) dari prekursor β -diketon. Mereka mengamati bahwa tidak ada impuritas karbon yang terdeteksi menggunakan XPS di bawah kondisi optimal. *Coatings* ditumbuhkan pada substrat berupa plat aluminium, platinum, silikon, dan kaca serta titanium nitrat. Substrat tersebut dipilih karena memiliki adhesi yang sangat baik. Teknik CECVD digunakan untuk menumbuhkan *coatings* Yttrium oksida [$\text{Y}(\text{thd})_3$] dengan kemurnian tinggi. Karakterisasi menggunakan XPS, SEM, dan XRD menunjukkan adanya pembukaan struktur *amorf*. [8], menggunakan $\text{Pd}(\text{hfac})$ dan $\text{Pd}(3\text{-2-methylallyl})(\text{acac})$ sebagai katalis Palladium-Platinum *bilayer nanofilms* pada substrat *polysulfone*. *Films* yang ditumbuhkan menggunakan CECVD mengalami laju reaksi 350-450 nm/h. Gas oksigen dan nitrogen sebagai gas pembawa pada 220-300 °C tekanan normal. Ukuran yang didapat dilaporkan 15-30 nm sedangkan ketebalan lapisan Pt-Pd *bilayer* 120-180 nm. CECVD yang dilakukan menunjukkan performa pada suhu 300 °C.

2.2. Emas

Emas telah diaplikasikan sebagai katalis pada CECVD [9], menggunakan emas sebagai katalis untuk *single crystals silicon nanobelts*. Penggunaan katalis emas mampu mendorong pembentukan nanomaterial dengan permukaan yang datar, tepi yang halus, dan ketebalannya tipis. Sintesis *silicon nanowires* menggunakan katalis emas juga telah dilakukan pada substrat dengan temperatur di bawah 250 °C.

2.3. Nikel

Nikel juga merupakan salah satu logam yang digunakan sebagai katalis CECVD. [10], menggunakan $\text{Ni}(\text{NO}_2)_3$ sebagai katalis untuk menumbuhkan $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ *nanobelts*. Reaksi yang dilakukan secara langsung dengan aliran gas nitrogen pada 1450 °C pada karbon terdeposisi $\text{Ni}(\text{NO}_2)_3$. Hasil yang didapatkan $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ *nanobelts* dengan ketebalan 40-60 nm, lebar 200-300 nm.

2.4. Besi

Besi juga dilaporkan sebagai katalis dalam CECVD pada pembuatan *silicon nanowires* berstruktur prisma dengan deposisi gas SiH_4 pada 450 °C. Hasil TEM menunjukkan diameter

silicon nanowires 50-70 nm [11], menggunakan katalis Fe/SiO₂-Al₂O₃ untuk sintesis *boron nitrides nanotube* (BNNTs) pada temperatur rendah dengan metode *plasma assisted chemical vapor deposition*. Boron dilarutkan bersama endapan besi dan direaksikan dengan nitrogen.

2.5 Miscellaneous

Gallium digunakan oleh [12], dimana *silicon nanowires* ditumbuhkan pada substrat dengan temperatur rendah. Indium juga diterapkan sebagai katalis untuk sintesis *silicon nanowires* dari *silane* via PACVD dan gas hidrogen untuk mempromosikan aktivitas katalitik.

Metode CVD memiliki keunggulan, yaitu laju pertumbuhannya tinggi, distribusinya seragam (homogen), reproduksibilitasnya bagus, material yang telah terdepositi sulit untuk menguap, massa produk yang dihasilkan akan terukur, dapat menggunakan hidrokarbon dalam bentuk apapun yaitu padat, cair atau gas dan dapat menggunakan berbagai substrat. Selain itu produk yang diperoleh dalam berbagai bentuk, seperti bubuk, tipis atau film tebal, selaras atau terjerat, lurus atau melingkar dan kontrol yang lebih baik pada parameter pertumbuhan. Selain keunggulan tersebut, metode CVD juga mempunyai kelemahan. Kelemahan metode CVD, yaitu membutuhkan peralatan yang kompleks dan kondisi vakum, menggunakan gas hidrogen, material dasar kebanyakan bersifat racun (hidrida dan karbonil terutama arsen), mudah bereaksi dengan udara terbuka, biayanya mahal untuk memperoleh senyawa dengan kemurnian yang tinggi [1].

Dalam paper ini akan dikaji beberapa aplikasi dari CVD seperti, sintesis *graphene* untuk pelapisan plat Cu, sintesis karbon nanofiber dan nanotube dan sintesis nanopartikel TiO₂.

3. Aplikasi Penggunaan Metode CVD

3.1 . Sintesis Graphene untuk Pelapisan Plat Cu

Sintesis *graphene* menggunakan CVD (Gambar 3) pada tekanan rendah. Substrat Cu dipanaskan hingga 1030 °C dengan dialiri gas hidrogen dan metana untuk pembentukan *graphene*. Sintesis *single layer graphene* (SLG) dan *few layer graphene* (FLG) dengan mengontrol kecepatan penurunan suhu. Pada SLG, substrat Cu didinginkan dari 1030 °C hingga suhu kamar selama 20 menit sedangkan waktu pendinginan FLG selama 10 jam.

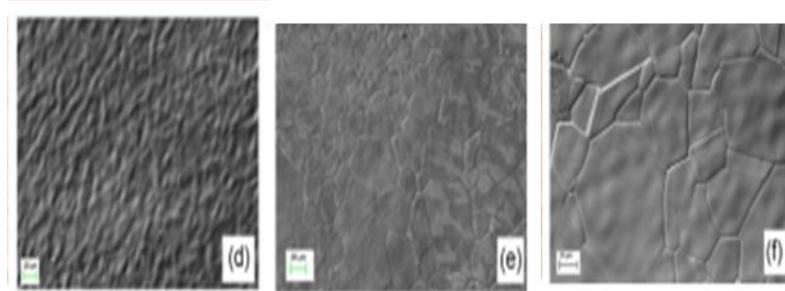


Gambar 3. Samples and measurement setup [13].

Graphene-Cu-graphene yang dihasilkan memiliki konduktivitas termal 24% lebih tinggi dibandingkan plat Cu mendekati suhu kamar (Tabel 1). *Graphene* yang dihasilkan dengan CVD menyebabkan partikel Cu lebih kuat dari pada Cu yang dihasilkan dari proses *annealing* pada kondisi yang sama. *Graphene* dapat menghentikan penguapan permukaan Cu selama proses pemanasan saat CVD berlangsung. Hasil uji SEM (Gambar 4) menunjukkan bahwa *graphene* hasil CVD mampu mengurangi kekasaran permukaan Cu hingga 20%.

Tabel 1. Thermal Diffusivity and Thermal Conductivity of graphene coated Cu Film [13].

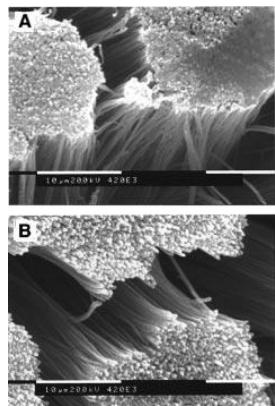
Cu sampel	25 μm	25 μm annealed	25 μm with SLG	25 μm with FLG
$\alpha (\text{mm}^2 \text{s}^{-1})$	90	91,2	97,6	98,4
K ($\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$)	313	337,2	363	376,4



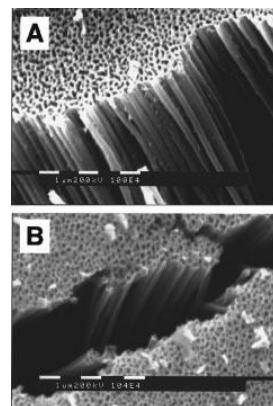
Gambar 4. SEM Image of (d) surface of Cu Film, (e) annealed Cu Film, (f) Cu film with CVD graphene [13].

3.2 Sintesis Karbon Nanofiber dan Nanotube

Sintesis karbon nanofiber dan nanotube dengan metode CVD dilakukan pada suhu reaktor 545 °C menggunakan katalis Ni, sedangkan proses tanpa katalis menggunakan suhu 900 °C. Karbon nanofiber dan nanotube disintesis melalui deposisi etilen atau *pyrene*. Suhu reaktor dinaikkan sampai 545 °C dan 900 °C sambil dialiri gas Argon. Untuk deposisi etilen, aliran Argon dihentikan setelah suhu stabil dan etilen (10 sccm) mulai dialirkan secara bersamaan. Aliran gas Argon dilanjutkan dan aliran etilen dihentikan setelah terjadi deposisi, kemudian tungku pemanas dimatikan dan dibiarkan suhu turun sampai suhu kamar. Sedangkan deposisi *pyrene* dilakukan dengan cara menempatkan 50 mg *pyrene* pada daerah dengan suhu 200 °C di reaktor, kemudian 50 sccm Argon dialirkan sebagai gas pembawa, proses selanjutnya dilakukan sama seperti saat deposisi etilen.



Gambar 5. Scanning mikrograf elektron dari karbon CVD nanotube setelah 10 menit deposisi pada 900 °C dengan (A) etilen dan (B) pyrene sebagai prekursor [15].



Gambar 6. Scanning mikrograf elektron dari karbon CVD nanofiber setelah 40 menit deposisi pada 900 °C menggunakan (A) etilen dan (B) pyrene sebagai prekursor [15].

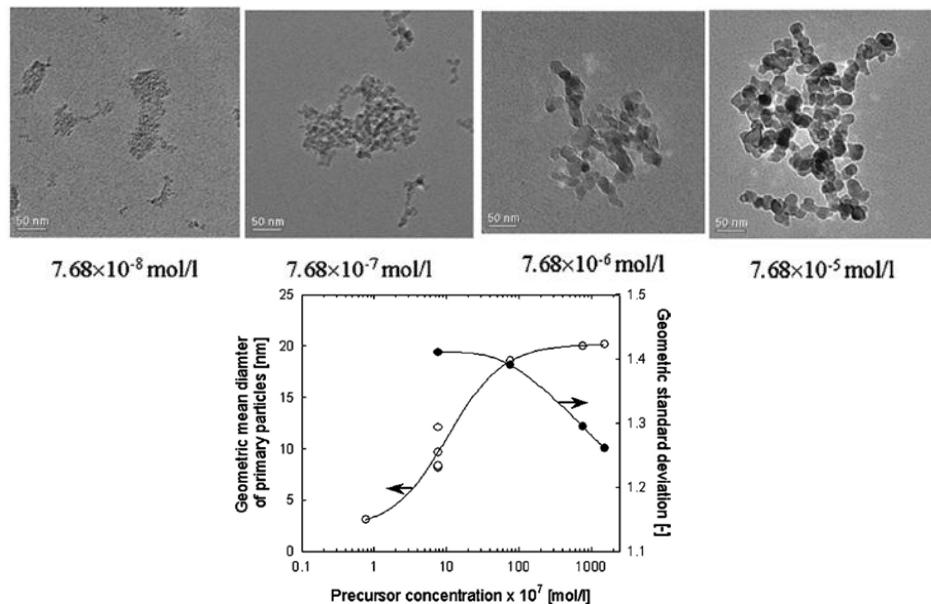
Gambar 5 menunjukkan bahwa deposisi menyebabkan terbentuknya tabung karbon dalam pori-pori membran dan film karbon tipis pada permukaan membran. Terdapat beberapa ciri-ciri, yaitu: Pertama, prekursor etilena dan *pyrene* dapat dipirolysis pada pori-pori dan terdeposisi pada dinding pori dalam membentuk nanotube karbon di bawah kondisi eksperimental. Tidak terdapat cacat secara makroskopik dalam karbon nanotube. Kedua, karbon nanotube memiliki diameter luar yang sama seperti yang dari pori-pori membran templat. Karbon nanotube ini sangat selaras, dengan karbon nanotube yang disintesis dengan metode lainnya. Ketiga, nanotube karbon ini seragam dan berongga dengan ujung terbuka.

Karbon nanofibers padat dapat dibentuk dengan meningkatkan waktu deposisi. Gambar 6 merupakan data SEM yang diperoleh setelah pembubaran membran template dalam HF terkonsentrasi dan dengan menghilangkan lapisan permukaan dengan memoles dengan kertas abrasif. Karbon nanofiber ini tidak memiliki cacat secara makroskopik dan memiliki diameter yang sama seperti pori-pori membran template. Karbon nanofiber ini sangat selaras, dengan karbon nanotube yang disintesis dengan metode lainnya.

3.3 Sintesis Nanopartikel TiO_2

Sintesis nanopartikel TiO_2 menggunakan CVD dengan kedua metode dekomposisi termal TTIP dan oksidasi $TiCl_4$ memiliki struktur anatase kristal pada suhu reaksi di atas 1200 °C. Dengan demikian, untuk menyelidiki efek dari konsentrasi TTIP prekursor pada ukuran partikel dan kristalinitas, konsentrasi molekul prekursor itu di variasi dari $7,68 \times 10^{-8}$ sampai $1,54 \times 10^{-4}$ mol/L pada total laju aliran konstan 2 L/min dan suhu reaktor 1200 °C. Hasil TEM nanopartikel

TiO₂ yang berhasil dibuat dengan dekomposisi termal TTIP pada berbagai konsentrasi prekursor ditunjukkan pada Gambar 7.

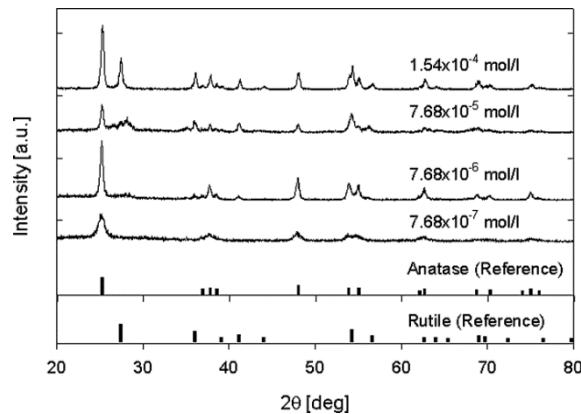


Gambar 7. Hasil TEM dari nanopartikel TiO₂ disiapkan oleh dekomposisi termal TTIP di bawah berbagai konsentrasi prekursor. Perubahan diameter partikel primer dan diameter rata geometrik yang diperoleh dari gambar TEM dengan konsentrasi precursor [16].

Pada konsentrasi prekursor 7.68×10^{-8} mol/L ukuran partikel yaitu 3,1 nm. Seiring dengan meningkatnya konsentrasi prekursor maka ukuran partikel juga akan meningkat dan morfologi partikel juga akan berubah. Pada konsentrasi prekursor yang lebih besar dari 7.68×10^{-5} mol/L, ukuran partikel primer menunjukkan nilai konstan. Geometris standar deviasi menurun dengan konsentrasi prekursor, hal ini disebabkan koagulasi ditingkatkan dan sintering yang dihasilkan dari konsentrasi besar inti TiO₂ yang dihasilkan pada konsentrasi prekursor TTIP tinggi [14]. Hasil TEM menunjukkan bahwa semakin konsentrasi prekursor meningkat, ukuran utama partikel, ukuran aglomerat, dan konsentrasi jumlah partikel meningkat.

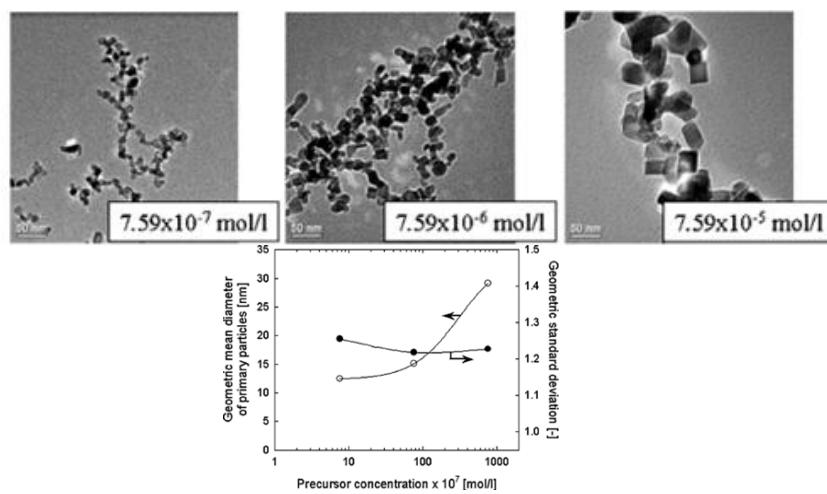
Pada Gambar 8. menunjukkan hasil *X-Ray Diffraction* dari nanopartikel TiO₂ yang diproduksi pada berbagai konsentrasi prekursor pada suhu reaktor 1200 °C. Pada konsentrasi prekursor 7.68×10^{-7} mol/L, partikel TiO₂ berada di fase anatase. Pada saat konsentrasi prekursor meningkat menjadi 10 kali, kristalinitas anatase itu meningkat tajam, dan transformasi dari anatase untuk rutile terjadi, meskipun partikel siap hampir sepenuhnya anatase. Transformasi anatase menjadi rutile terjadi pada konsentrasi prekursor 7.68×10^{-5} mol/L, dan pola difraktogram menunjukkan puncak yang sesuai baik anatase maupun rutile. Ketika konsentrasi prekursor meningkat menjadi 1.54×10^{-4} mol/L, puncak rutile meningkat. Ukuran kristal partikel

dihitung menggunakan hubungan *Scherrer*. Pada prekursor konsentrasi molekul 7.68×10^{-7} mol/L, 7.68×10^{-6} mol/L, dan 7.68×10^{-5} mol/L, ukuran kristal yaitu 10,69 nm; 23,66 nm; dan 24,11 nm masing-masing.



Gambar 8. Pola difraktogram nanopartikel TiO_2 dengan berbagai konsentrasi prekursor dengan metode dekomposisi termal TTIP [16].

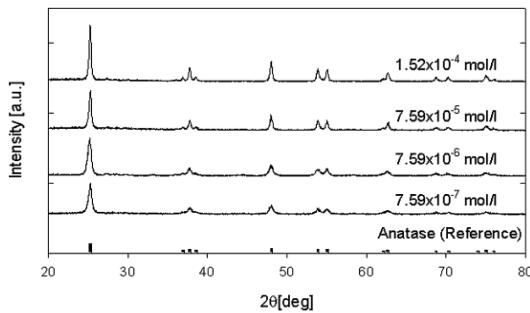
Berikutnya ukuran partikel dan kristalinitas nanopartikel TiO_2 dihasilkan melalui oksidasi TiCl_4 dengan metode CVD. Gambar 9 menunjukkan hasil TEM partikel TiO_2 yang dihasilkan oleh oksidasi TiCl_4 pada suhu tungku 1200 °C.



Gambar 9. Hasil TEM nanopartikel TiO_2 yang dihasilkan dari oksidasi TiCl_4 pada berbagai konsentrasi prekursor. Perubahan diameter partikel primer dan diameter rata geometrik yang diperoleh dari gambar TEM dengan konsentrasi prekursor. [16].

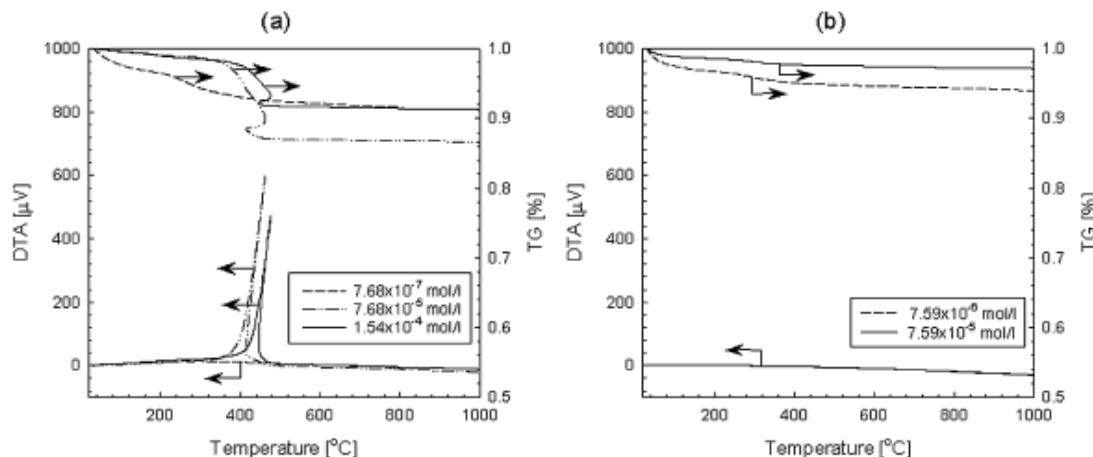
Pada gambar 9 konsentrasi molekul prekursor bervariasi yaitu dari $7.59 \times 10^{-7} \sim 7.59 \times 10^{-5}$ mol/L pada total laju aliran konstan 2 L/min. pada gambar diatas, diameter partikel dasar meningkat dengan meningkatnya konsentrasi prekursor. Ukuran partikel utama kemudian lebih dari 15 nm pada konsentrasi prekursor di atas 7.59×10^{-6} mol/L.

Pada Gambar 10 menunjukkan hasil XRD dari nanopartikel TiO_2 yang dihasilkan dari oksidasi TiCl_4 dengan metode CVD. Pola difraksi sinar-X menunjukkan fase anatase dalam semua nanopartikel TiO_2 yang dihasilkan oleh oksidasi TiCl_4 pada konsentrasi prekursor yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran butir independen dari fase transformasi anatase menjadi rutile.



Gambar 10. Pola difraktogram nanopartikel TiO_2 dengan berbagai jumlah laju aliran dengan metode oksidasi TiCl_4 [16].

Gambar 11 menunjukkan hasil TG-DTA untuk TiO_2 yang dihasilkan oleh dekomposisi termal TTIP (Gambar 11a) dan oksidasi TiCl_4 (Gambar 11b). Ketika konsentrasi prekursor 7.68×10^{-7} mol/L, ada puncak eksotermis muncul pada kurva DTA, dan hilangnya massa total adalah 8,75%. Penurunan berat ini disebabkan oksidasi residu organik dari prekursor. Penurunan berat di bawah suhu 200 °C adalah karena air yang diserap sebagai hasil dari pempararan dari sampel udara. Pada konsentrasi prekursor 7.68×10^{-7} mol/L, dan suhu di bawah 200 °C, kehilangan massa jauh lebih tinggi dari itu untuk konsentrasi 7.68×10^{-5} mol/L dan 1.54×10^{-4} mol/L karena ukuran partikel yang lebih kecil, atau luas permukaan spesifik yang lebih besar. Namun, karena konsentrasi prekursor meningkat menjadi 7.68×10^{-5} mol/L dan 1.54×10^{-4} mol/L, puncak eksotermik terdeteksi di 462 °C dan 475 °C, masing-masing. Dalam kurva DTA, puncak eksotermis tidak diamati pada suhu di atas 480 °C, menunjukkan bahwa tidak ada kristalisasi atau tahap transisi terjadi pada rentang suhu. Selain itu, tidak ada puncak pada kurva DTA untuk nanopartikel TiO_2 yang dihasilkan oleh oksidasi TiCl_4 .



Gambar 11. Kurva TG-DTA nanopartikel TiO_2 disiapkan oleh dekomposisi termal TTIP (a) dan oksidasi TiCl_4 (b) pada berbagai konsentrasi prekursor [16].

4. Kesimpulan

Chemical Vapor Deposition (CVD) sangat banyak diaplikasikan dalam teknologi pembuatan material. Mayoritas aplikasi ini yakni melibatkan *coating* atau pelapisan padatan pada permukaan. Beberapa aplikasi dari CVD yaitu sintesis *graphene* untuk pelapisan plat Cu, sintesis karbon nanofiber dan nanotube dan sintesis nanopartikel TiO_2 . Metode CVD menghasilkan partikel Cu yang lebih kuat, memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dan mengurangi kekasaran permukaan Cu pada sintesis *graphene* untuk pelapisan plat Cu. Pada sintesis karbon nanofiber dan nanotube, diperoleh karbon nanofiber dan nanotube yang tidak memiliki cacat secara makroskopik dan memiliki diameter yang sama seperti pori-pori membran templat. Sedangkan pada sintesis nanopartikel TiO_2 , semakin meningkatnya konsentrasi prekursor maka ukuran utama partikel, ukuran aglomerat, dan kristalinitas partikel meningkat.

Referensi

- [1] Carlsson, J., & Peter, M, Martin, 2010, *Chemical Vapor Deposition*, Elsevier Inc.
- [2] Bhat, D. G., 2006, *Handbook of chemical vapor deposition*, Tayloe & Francis Group, LLC.
- [3] Pierson, H. O., 1999, *Handbook of Chemical Vapor Deposition*, New York, Noyes Publications.
- [4] Ingle, N., Kuech, T., & Tischler, M. A., 2011, *Chemical Vapor Deposition*, University of Winconsin, Madison.
- [5] Becker, A., & Hüttinger, K. J., 1998, Chemistry and kinetics of chemical vapor deposition of pyrocarbon—II pyrocarbon deposition from ethylene, acetylene and 1, 3-butadiene in the low temperature regime. *Carbon*, **36**(3), 177-199.
- [6] Ningsih, S. K. W., 2016, *Sintesis Anorganik*, Padang, UNP Press.

- [7] Zhang, Y., Choi, S. W. K., & Puddephatt, R. J., 1997, Catalyst enhanced chemical vapor deposition: Effects on chemical vapor deposition temperature and film purity. *J.Am. Chem. Soc.*, **119**(39), 9295-9296.
- [8] Jianhua, Z. J., Xike, T., Wenfang, F., & Kaichao, Y., 2007, *Chin. J. Cata.*, **755**(28).
- [9] Wei, D.P. & Chen, Q., 2008. Metal-catalyzed CVD method to synthesize silicon nanobelts. *J. Phys. Chem. C*, **112**(39), 15129-15133.
- [10] Huang, J., Liu, Y. G., Huang, Z., Fang, M., Zhang, S., Xie, W., Yang, J., Huang, S., and Xu, Y., 2012, Ni (NO₃)₂-assisted catalytic synthesis and photoluminescence property of ultralong single crystal Sialon nanobelts. *Cryst. Growth Des.*, **13**(1), 10-14.
- [11] Su, C. Y., Chu, W. Y., Juang, Z. Y., Chen, K. F., Cheng, B. M., Chen, F. R., Leou, K. C. & Tsai, C. H., 2009, Large-scale synthesis of boron nitride nanotubes with iron-supported catalysts. *J. Phys. Chem. C*, **113**(33), 14732-14738.
- [12] Zardo, I. L., Yu, S., Conesa-Boj, S., Estrade, P. J., Alet, J., Rossler, M., Frimmer, P.R.I., Cabarrocas, F., Peiro, J., Arbiol, J. R., Morante & Morral, A. F. I., 2009, *Nanotechnology* **20**(1).
- [13] Goli, P., Ning, H., Li, X., Lu, C. Y., Novoselov, K. S., & Balandin, A. A., 2014, Thermal properties of graphene–copper–graphene heterogeneous films. *Nano Lett.*, **14**(3), 1497-1503.
- [14] Jang, H. D., & Jeong, J., 1995, The Effects of Temperature on Particle Size in the Gas-Phase Production of TiO₂. *Aerosol Sci. Technol.*, **23**(4), 553-60.
- [15] Che, G., Lakshmi, B. B., Martin, C. R., Fisher, E. R., & Ruoff, R. S., 1998, Chemical vapor deposition based synthesis of carbon nanotubes and nanofibers using a template method. *Chem. Mater.*, **10**(1), 260-267.
- [16] Kim, C. S., 2005, A New Observation on the Phase Transformation of TiO₂. *Aerosol Sci. Technol.*, **39** 104–12.
- [17] Kim, C.S., Okuyama, K., Nakaso, K. & Shimada, M., 2004. Direct Measurement of Nucleation and Growth Modes in Titania Nanoparticles Generation. *Chem. Eng. (Japan)*, **37**, 1379–89.
- [18] Kumar, M., & Ando, Y., 2010, Chemical vapor deposition of carbon nanotubes: a review on growth mechanism and mass production. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, **10**(6), 3739-3758.
- [19] Li, X., Magnuson, C.W., Venugopal, A., An, J., Suk, J.W., Han, B., Borysiak, M., Cai, W., Velamakanni, A., Zhu, Y. & Fu, L., 2010, Graphene films with large domain size by a two-step chemical vapor deposition process. *Nano Lett.*, **10**(11), 4328-4334.
- [20] Rashid, H.U., Yu, K., Umar, M.N., Anjum, M.N., Khan, K., Ahmad, N. and Jan, M.T., 2015. Catalyst Role in Chemical Vapor Deposition (CVD) Process: A Review. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, **40**, 235-248.
- [21] Jianhua, Z., Jinlan, Z., Xike, T., Wenfang, F., & Kaichao, Y., 2007, *Chin. J. Cata.* **28** (755).

Teknik Mikro- dan Nano-litografi dan Aplikasinya

(*Micro- and Nano-lithography Techniques and Its Application*)

Afifah Nur Aisyah, Alifia Harista Rachma, Anis Robi Astuti, Intan Silvianingrum, Putri Puspitasari, Santi Ramadani, Syaiful Ichsan*, Teguh Endah Saraswati

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126 Indonesia*

*E-mail: syaiful.ichsan95@gmail.com

Abstrak. Artikel ini membahas mengenai teknik mikro dan nanolitografi beserta aplikasinya. Teknik-teknik litografi meliputi fotolitografi, litografi elektron beam, litografi lunak dan litografi scanning probe. Masing-masing teknik memiliki aplikasi yang dirangkum dalam empat bidang utama yaitu elektronik dan mikrosistem, medis dan bioteknologi, optik dan foton, lingkungan dan energi.

Kata kunci: nanolitografi, fotolitografi, litografi elektron *beam*, litografi lunak, litografi *scanning probe*, litografi nanosfer

Abstract. This article discusses the techniques of micro- and nanolithography and their applications. The lithography techniques include photolithography, electron beam lithography, soft lithography, and scanning probe lithography. Each technique has its own applications which are summarized into four major area, which are electronic and microsystem, medical and biotechnology, optic and photon, environment and energy.

Keywords: nanolithography, photolithography, electron beam lithography, soft lithography, scanning probe lithography, nanosphere lithography

1. Pendahuluan

Pengembangan nanoteknologi menjadi daya tarik baik bagi ilmuwan maupun pemerintah dengan melakukan kegiatan penelitian, termasuk pembuatan atau sintesis material nano. Pemanfaatan material dapat menjanjikan berukuran nano, memberikan peluang untuk menciptakan teknologi baru yang penerapannya diharapkan mampu membawa perubahan infrastruktur yang luar biasa. Material nano merupakan susunan materi yang berukuran 1 nanometer hingga 100 nanometer menunjukkan karakteristik unik yang disebabkan oleh ukuran tersebut. Nanomaterial dapat dibuat dengan dua pendekatan, yaitu *top – down* (memperkecil) dan *bottom – up* (memperbesar). Salah satu cara yang menarik dari pembuatan nanomaterial dari *top - down* adalah litografi.

Selama beberapa dekade, teknologi mikro dan nanolitografi telah memberikan kontribusi dalam pembuatan sirkuit terpadu (IC) dan mikrochip. Mikro dan nanolitografi adalah teknologi

yang digunakan untuk membuat pola dengan ukuran fitur mulai dari beberapa nanometer hingga puluhan milimeter. Teknik litografi dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan kegunaan *mask* atau topeng: *masked lithography* dan *maskless lithography*. Macam-macam *masked lithography* antara lain fotolitografi [1], litografi lunak [2] dan nanoimprin litografi [3].

Di sisi lain, *maskless lithography* seperti litografi sinar electron [4,5], litografi fokus sinar ion [6] dan litografi scanning probe [7], fabrikasi sesuai dengan pola keinginan tanpa menggunakan masker.

Mikro dan nanolitografi tidak hanya menjadi teknologi utama dalam industri semikonduktor dan IC, tetapi juga memainkan peran yang penting dalam pembuatan perangkat MEMS komersial serta fabrikasi prototipe di negara yang ilmu nano dan tekniknya sedang berkembang. Aplikasi ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup secara signifikan dalam banyak hal seperti *gadget* untuk kesehatan dan alat kesehatan.

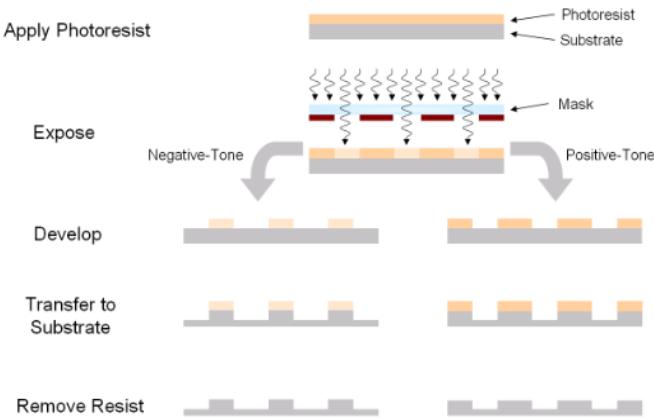
Selain itu nanosains juga menjadi alternatif dalam bidang komputasi, diagnosis dan pengobatan berbagai penyakit salah satunya kanker [8], penyakit jantung dan penyakit Alzheimer [9], sistem nanoelektrokimia juga memiliki sensitivitas tinggi dan resolusi penginderaan tinggi dan nanobiosensor untuk konsentrasi ultra-rendah dan deteksi molekuler tunggal. Paper ini akan mengulas berbagai macam teknik litografi dan mikro sehingga dapat diketahui persamaan dan perbedaan serta aplikasi penggunaannya.

2. Teknik Mikro dan Nanolitografi

2.1 Fotolitografi

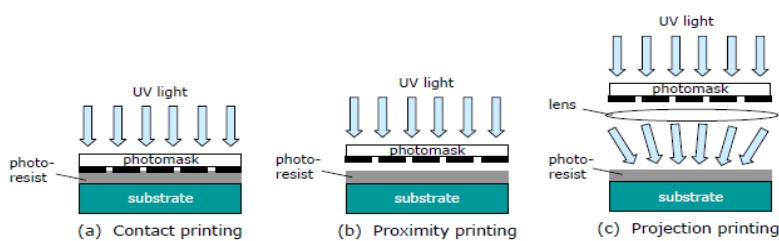
Fotolitografi merupakan teknik yang banyak diaplikasikan pada semikonduktor dan IC (*integrated circuit*) [10]. Teknik ini menggunakan paparan dari sinar polimer menuju sinar UV untuk menentukan pola yang diinginkan. Teknik utama dalam membuat pola pada IC adalah melalui fotolitografi. Skema proses litografi secara umum ditunjukkan pada gambar 1.

Secara umum, proses litografi diawali dengan material *photo resist* yang berbentuk film ke dalam substrat untuk membentuk pola. Material polimer dapat mengalami perubahan larutan selama pemaparan cahaya dengan panjang gelombang yang spesifik, yaitu pada kisaran 193-436 nm [4]. Pembentukan pola selesai dilakukan dengan memaparkan cahaya melalui topeng cahaya (*photomask*) untuk di pindah kedalam film. Cahaya yang dapat mencapai film tersebut menginduksi adanya perubahan kelarutan. Daerah yang terpapar cahaya dapat menjadi lebih larut (*positive tone*) atau kurang larut (*negative tone*) dibandingkan dengan daerah yang tidak terpapar cahaya.



Gambar 1. Skema dari proses fotolitografi [11].

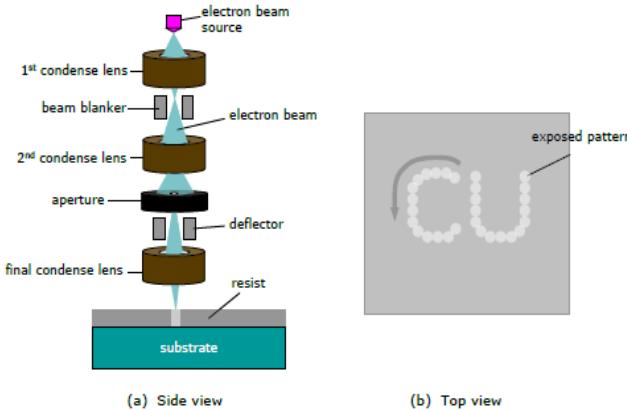
Fotolitografi dibedakan menjadi 3 tipe, antara lain *contact printing*, *proximity printing*, dan *projection printing* seperti yang diilustrasikan pada gambar 2. *Contact* dan *proximity printing* menempatkan *photomask* dekat dengan material polimer (*photo resist*). *Photomask* mengandung pola pada seluruh substrat bersentuhan atau saling kontak dengan substrat yang diberi pola. Maka dari itu disebut *contact printing*. Namun, masalah yang muncul pada *contact printing* adalah adanya saling kontak antara *photomask* dan *photo resist film*. Hal ini dapat diminimalisir dengan *proximity printing*, yaitu dengan optimalisasi sistem pencahayaan dan memungkinkan celah kecil antara topeng dengan substrat. Sedangkan, *projection printing* menghindari kerusakan topeng seluruhnya dengan memanfaatkan sistem lensa untuk memfokuskan gambar topeng ke substrat.



Gambar 2. Skema ilustrasi dari 3 tipe fotolitografi [12].

2.2 Litografi Menggunakan Elektron Beam

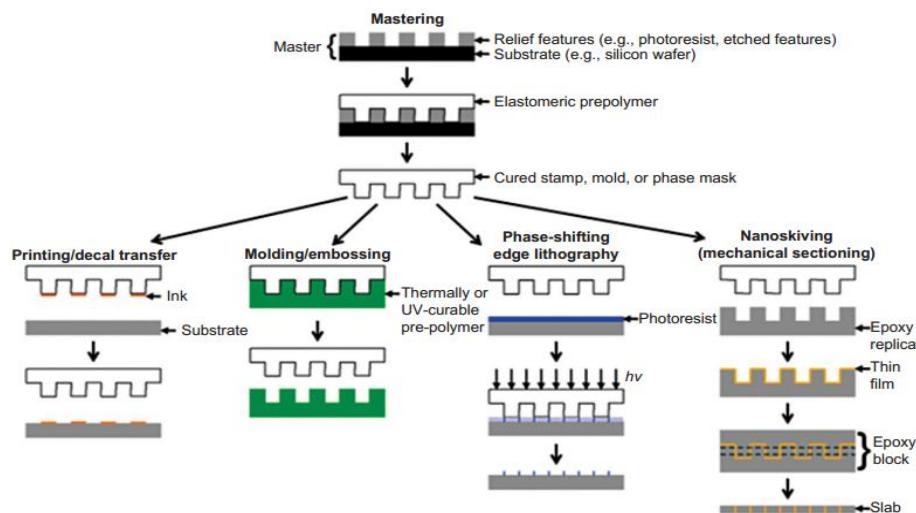
Elektron beam merupakan teknik yang biasa digunakan untuk fabrikasi pol dalam skala nano. Litografi menggunakan elektron beam dapat mempercepat penembakan elektron untuk menghasilkan paparan [13]. Biasanya digunakan ion dari galium. Titik tembakan elektron dipindai pada permukaan untuk membentuk pola, ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Skema ilustrasi dari litografi elektron beam [12].

Material yang dapat diaplikasikan dalam elektron beam, antara lain yaitu tungsten, platinum, dan karbon melalui deposisi terinduksi ion beam. Ketika gas prekusor seperti tungsten heksakarbonil ditambahkan ke dalam *chamber*, gas prekusor terkena tembakan elektron, lalu menimbulkan adanya dekomposisi gas yang meninggalkan komponen non-volatile pada permukaan. Dalam spesifikasi ini, resolusi dari teknik litografi elektron beam sebesar 5-20 nm [14] karena adanya panjang gelombang yang sangat pendek dari elektron beam pada ukuran nano.

2. 3 Soft lithography



Gambar 4. Nanofabrikasi dengan *Soft Lithography* [15].

Soft lithography merupakan salah satu metode lithografi yang biasanya digunakan untuk pembuatan semikonduktor, peralatan MEMS (*micro electro mechanical systems*), serta aplikasi di

bidang biologi sel dan fotofoltaik. Terdapat dua komponen yang diperlukan untuk melakukan *soft lithography* yaitu master dan cap. Master adalah templat bantalan fitur topografi yang di cap (replika terbalik). Teknik *soft lithography* untuk nanofabrikasi dapat dilihat pada Gambar 4.

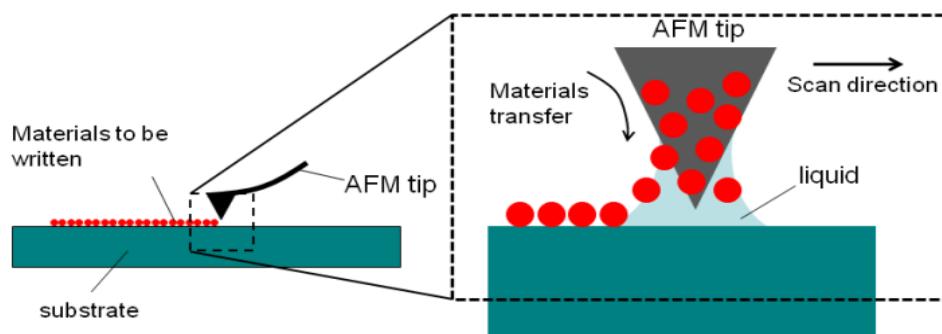
Terdapat empat metode umum mereplikasi pola fitur nano menggunakan *soft lithography* antara lain printing, molding, phase-shifting edge lithography, dan *nanoskiving* [15]. *Printing* dan *molding* mereplikasi ukuran nano secara langsung dimana ada korespondensi satu-satu antara dimensi dari mater, cap dan pola akhir. Dibutuhkan master dengan resolusi yang tinggi untuk mereplika pola dengan ukuran nano. Phase-shifting edge lithography, dan *nanoskiving* mereplikasi tidak secara langsung namun menggunakan fitur topografi.

Bahan yang paling umum digunakan untuk cap *soft lithography* adalah PDMS (polydimethylsiloxane). PDMS memiliki beberapa sifat yang membuat ideal untuk berbagai aplikasi, antara lain elastis, transparan untuk panjang gelombang 280 nm, dan tersedia secara komersial [15]. Sifat elastis PDMS dapat dikombinasikan dengan energi permukaan yang rendah yang memungkinkan membuat konformal reversibel dengan substrat non planar (tekanan minimal) sehingga menjadikan permukaan cap PDMS bersifat hidrofilik dan reaktif [16].

2.4. Scanning probe lithography

Scanning probe lithography menggunakan probe tajam dalam kekuatan mikroskop atom (AFM) terhadap panas, mengoksidasi atau zat transfer ke permukaan substrat untuk pola fitur nano. Di antara teknik ini, pendekatan untuk nanopartikel atau molekul selektif ke substrat yang paling banyak digunakan adalah *dip-pen nanolithography*.

Dip-pen nanolithography dapat dilakukan tanpa besarnya elektromagnetik dan kekuatan geser yang terlibat. Teknik ini pertama kali digunakan untuk mentransfer molekul thiol ke permukaan emas yang baru disiapkan [17]. AFM probe dilapisi dengan *thin film* dari bahan kimia yang menarik dengan cara merendam penopang dalam larutan atau dengan pengujian. Molekul kimia disimpan ke permukaan substrat selama kontak antara ujung dilapisi. Skema gambar untuk *dip-pen nanolithography* ditunjukkan pada Gambar 5.

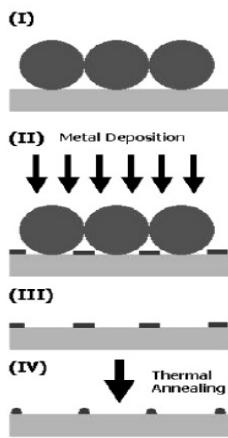


Gambar 5. Skema Ilustrasi dip-pen nanolithography [12].

Salah satu kelemahan dari teknik *dip-pen nanolithography* adalah daerah yang dibentuk sulit untuk ditingkatkan. Namun [18] menghasilkan array awal hingga 4.750 kiat silikon seluas 1 cm² pada lapisan elastomer melekat pada *slide* kaca. Hal ini dapat digunakan untuk membuat pola *arbitrary* secara paralel besar tanpa perlu master. Hal ini menunjukkan bahwa pola lubang dalam PMMA film 30 nm dapat dibuat. Probe tips tradisional terbuat dari bahan keras seperti silikon, silikon nitrida, dan PDMS elastomer sementara berbagai nanomaterial dapat ditulis atau dibentuk seperti nanopartikel, larutan cair, dan bahan organik. Karakteristik *dip-pen nanolithography* dari aspek manufaktur termasuk tingkat pengolahan, kegunaan alat, dan kualitas fitur baru-baru ini telah dikembangkan.

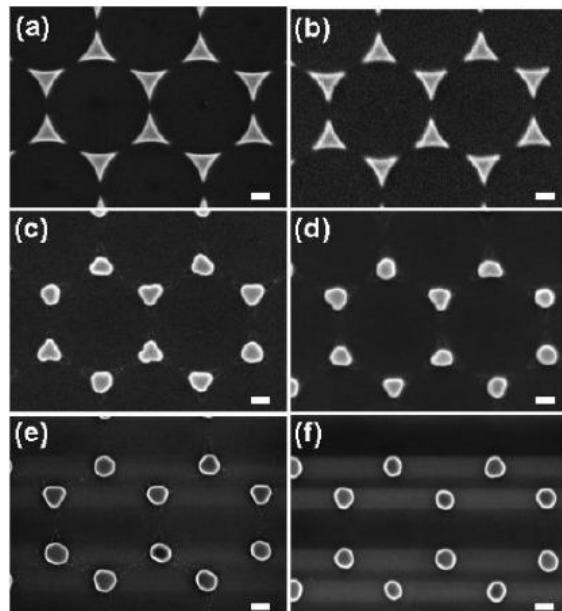
2.5 Nanosphere lithography

Nanosphere lithography (NSL) adalah cara fabrikasi yang ideal untuk menghasilkan penyusunan yang teratur dan mendekati nanopartikel homogen di mana ukuran, bentuk, maupun periodisitas dapat dikontrol dengan mudah. Ukuran dot dapat ditempuh dengan mengontrol laju waktu deposisi, jarak antar dot diatur dengan menggunakan partikel koloid yang berbeda ukuran, dan jenis material yang dibuat dikontrol dengan mengatur jenis material sumber. Salah satu metode NSL yang sekaligus dapat menghasilkan tiga macam struktur yaitu *caking* yang tersusun secara teratur, partikel atau poros yang tersusun secara teratur akan dibahas di sini. Bentuk akhir dari struktur yang dibuat bergantung pada *post treatment* yang dilakukan. Metode ini memanfaatkan *templating* koloid dan *sputtering* lama (*over sputtering*). Penelitian yang dilakukan oleh [19] tentang fabrikasi ukuran array nanopartikel emas dengan menggunakan litografi nanosper yang ditunjukkan pada gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Skema Proses Fabrikasi [19].

Penelitian yang dilakukan oleh [19] menggunakan litografi nanosper yang dikombinasikan dengan *tunneling*. Dengan menggabungkan litografi nanosper dengan *tunneling* dapat mengontrol bentuk nanopartikel. Dalam penelitian tersebut dapat mengamati perubahan dari nanopartikel segitiga menjadi nanopartikel bulat dengan kontrol suhu. Hasil penelitian ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Penampakan SEM dari (a) mendeposi (b-f) annealing nanopartikel Au. Temperatur annealing (b) 205 (c) 325 (d) 451 (e) 700 dan (f) 930 °C. Skala=200 nm [19].

3. Aplikasi

3.1. Elektronik dan Mikrosistem

Keberhasilan di industri IC ini telah memicu perubahan besar dari komputer dan internet yang menciptakan paradigma baru di era informasi. Contohnya pada kemajuan nanolitografi terutama fotolitografi dalam bentuk *projection printing atau stepper*.

Kontribusi nanolitografi tidak terbatas hanya pada semikonduktor dan industri IC, melainkan juga memberikan kontribusi terhadap kemajuan mikrosisitem terutama MEMS. MEMS merupakan perangkat atau komponen yang dapat mengkonversi *input* fisik seperti percepatan, tekanan dan suhu menjadi *output* listrik atau dapat mengubah tenaga listrik menjadi gerak mekanik. Keunggulan perangkat MEMS dibandingkan dengan perangkat konvensional yaitu ukurannya yang kecil, respon cepat, resolusi dan sensitivitas tinggi dan harganya murah. Contoh perangkat MEMS akselerometer mikro [20] DMD, tekanan MEMS sensor [21], *micropumps*, *microvalves*, *switch optic* (kepala inkjet, *microgrippers*, dan *microactuators* [22]. Untuk contoh MEMS akselerometer digunakan untuk penyebaran *airbag crash* dalam mobil dan untuk mendeteksi gerakan pada perangkat elektronik seperti permainan *controller* (misalnya, Nintendo Wii), iPhone dan *smartphone* lainnya. Beberapa contoh dari perangkat MEMS komersial antara lain DMD chip yang digunakan untuk aplikasi layar di proyektor dan televisi, MEMS giroskop, *switch optic*, dan kartrid inkjet. Perkembangan terkini dalam teknologi MEMS telah menciptakan potensi komersial yang besar untuk resonator mikromekanik dan osilator nanoelektromekanikal sebagai waktu dan frekuensi kontrol, sel bahan bakar mikro sebagai sumber listrik

untuk perangkat elektronik portabel [23] *microneedles* sebagai transdermal pengiriman obat buatan retina *microchip* [24], dan perangkat mikofluida [25].

3.2 Medis dan Bioteknologi

Nano dan Mikro fabrikasi teknologi telah memberikan kontribusi besar terhadap kemajuan pada diagnosa medis dan bioteknologi dalam beberapa tahun terakhir. Proyek jangka panjang mereka menargetkan pengujian dan validasi dalam berbagai aplikasi, misalnya: deteksi alergi, deteksi tumor payudara dan kanker prostat, deteksi toksin, leukemia, hepatitis B atau kanker hati, dan penyakit kardiovaskular. Dalam ulasan ini, teknologi canggih yang utamanya berhubungan dengan diagnosa medis dan *bio-sensing* dibagi menjadi tiga kategori: *Lab-on-a-chip*, nano dan perangkat biomedis.

Untuk *lab-on-a-chip* (LOC) sistem, teknologi ini memiliki tujuan akhir dari seluruh fabrikasi alur kerja analisis skala laboratorium ke dalam sebuah chip kompak. Untuk mencapai tujuan ini, chip fluida berisi jaringan yang terintegrasi dari komponen fluidia skala mikrometer, seperti saluran, mixer, pompa, pemisah dan detektor. Miniaturisasi operasi unit analisis dapat meningkatkan kinerja sistem kimia analitik. Dalam skala kecil seperti, aliran di dalam sistem laminar dan difusi yang dominan dapat meningkatkan kinerja sistem atau memperoleh metode unik sistem operasi. Manfaat lain yaitu ditemukan pengurangan volume cairan (yaitu, sampel uji atau larutan kimia) saat melakukan analisis dalam sistem LOC. Untuk mendorong cairan melalui sistem, mekanisme kontrol diperlukan, dan itu dikategorikan menjadi lima *platform*: *pressure-driven*, *electrokinetically-driven*, *sentrifugal-driven*, mikofluida digital, dan *platform Slip ChipTM* [26]. *Platform* tertentu memiliki karakteristik yang berbeda yang cocok untuk aplikasi tertentu.

Selain LOC juga ditemukan sebuah konsep baru dalam bidang ini yang disebut *lab-in-a-sel* (LIC). Konsep LIC bergantung pada ide dasar memanfaatkan *platform* seluler yang muncul sebagai laboratorium sederhana, namun canggih, untuk tujuan eksperimental mirip dengan standar laboratorium [11]. LIC menyajikan beberapa keunggulan dibandingkan pendekatan LOC. Pertama, sel melakukan operasi dan fungsi lebih. Kedua, tidak ada pencampuran atau system pompamaan yang diperlukan. Dari sudut pandang kimia, mesin enzimatik dalam sel mampu secara khusus dan cepat menghasilkan senyawa murni dan aktif. Akhirnya, sel lebih dapat direkayasa untuk menyesuaikan aktivitas mereka dengan tujuan tertentu. Ada berbagai pendekatan teknis untuk menangani atau menangkap partikel dan sel-sel di LOC [27]. Namun, untuk karakterisasi sel, ada dua pendekatan utama untuk deteksi sel tunggal: metode optik dan listrik [28] yang terbuat dari perangkat skala nano terintegrasi dalam LOC. Dengan perangkat skala nano ini, dua keuntungan utama yaitu sensitivitas yang lebih tinggi dan respon lebih cepat pada sistem analitis. Karbon nanotube, kawat nano, dan nanochannels digunakan dalam perangkat ini [29].

Nano didefinisikan sebagai proses mendiagnosis, merawat, dan mencegah penyakit dan luka trauma, mengurangi rasa sakit, dan menjaga serta meningkatkan kesehatan manusia, dengan menggunakan alat molekuler dan pengetahuan molekul tubuh manusia. Nano digunakan untuk mengatasi berbagai masalah kesehatan penting dengan menggunakan karakteristik unik dari bahan nano terstruktur dan *nanodevices* sederhana. Beberapa contoh adalah *immunoisolation* [30], *gated nanosieves* [31], *ultrafast sequencing DNA*, *nano shells* untuk pengiriman obat [32], dan deteksi virus [33].

Karena terjadi banyak kemajuan besar dari LOC dan nano teknologi digabungkan dengan keterkaitan berbagai teknologi lain, seperti perangkat biomedis yang berhasil dikembangkan dan digunakan dalam praktik nyata diagnosis penyakit dan pengobatan. Sebagai contoh, sistem pemantauan tekanan darah implant dan *accelerometers implant* [34] digunakan untuk membaca tekanan darah dan

untuk mendeteksi tingkat kecepatan detak jantung untuk sistem pacu jantung dan mengirim umpan ke perangkat kontroler. Perangkat implan seperti ini membutuhkan pengembangan lebih lanjut dari dua teknologi utama yaitu biokompatibilitas bahan dan fleksibilitas dari material yang akan dimasukkan ke dalam tubuh manusia. Contoh lain adalah perangkat non-invasif yang juga memiliki banyak aplikasi terutama dalam pemberian obat menggunakan *microelectrodes*.

3.3 Optik dan Fotonik

Selama lebih dari tiga dekade, perangkat MEMS optik seperti DMDs, *optical switches*, dan modulator telah dikembangkan dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Sebuah *chip* DMD terdiri dari beberapa ratus ribu cermin berukuran mikro yang sesuai dengan jumlah piksel dari gambar yang akan ditampilkan sementara 1/5 dari ukuran rambut manusia setiap *micromirror*. Setiap *micromirror* dapat diputar untuk memantulkan cahaya dari sumber cahaya ke layar (posisi *ON*) atau diputar ke sisi lain untuk memantulkan cahaya dari layar (posisi *OFF*). Dengan mengontrol durasi waktu setiap cermin pada keadaan *on/off*, ini memungkinkan kontrol kecerahan dari setiap piksel untuk tampilan aplikasi. *Chip* DMD ini banyak digunakan dalam proyektor, TV, dan bioskop digital. Dalam komunikasi optik, konsep MEMS diperkenalkan ke berbagai produk untuk membuat produk menjadi lebih kecil, lebih murah dan lebih baik. *Optical switches*, *attenuators optic*, *modulator of data optic*, dan *tunable lasers* adalah beberapa contoh dari perangkat MEMS optik.

Dalam komunitas optik, *optic plasmonic* sangat menarik karena perilaku dispersif dari permukaan *plasmon* (SPs) yang memungkinkan akses ke panjang gelombang yang lebih pendek saat menggunakan eksitasi cahaya tampak. SPs dasarnya kolektif elektron osilasi pada logam dan antarmuka dielektrik [35]. Pengamatan transmisi medan jauh melalui susunan lubang sub-panjang gelombang di layar perak dalam kisaran panjang gelombang dan inframerah terlihat, dimana besarnya lebih ringan dari prediksi teoritis oleh Bethe [36]. Peningkatan yang tidak biasa ini dikaitkan dengan eksitasi dari SPs pada permukaan logam yang secara dramatis meningkatkan *throughput* optik melalui celah sub-panjang gelombang. Hal ini membuka berbagai kemungkinan dan aplikasi dari nanolitografi dan *imaging* untuk penginderaan kimia dan biofisika. Misalnya, penggunaan SPs dibantu dengan cetakan bisa mengatasi masalah *throughput* rendah dari fotolitografi melalui celah sub-panjang gelombang. *superlens*, lensa *ultrahigh-resolucion* yang melampaui batas difraksi, juga disebabkan medan listrik ditingkatkan melalui permukaan *plasmon* resonansi sedangkan resolusi gambar yang diawetkan menghasilkan *imaging* resolusi tinggi. Untuk pembuatan struktur nano, sebagian besar waktu, litografi sinar elektron atau sinar ion khususnya litografi digunakan untuk membuat pola resolusi tinggi seperti susuana lubang nano, *bull's* struktur mata dan lensa *plasmonic*.

Manfaat lain adalah Lokalisasi permukaan *plasmon* resonansi (LSPR) berbasis nanobiosensor yang muncul sebagai perangkat *ultrahigh-sensitivity* ini mengandalkan perubahan indeks bias atau interaksi dengan struktur nano logam lainnya. Ini merupakan alat yang ampuh yang dapat memungkinkan deteksi konsentrasi sangat rendah atau deteksi molekuler bahkan satu sampel biologis seperti protein atau DNAs. Logam struktur nano ini dapat dibuat dengan reduksi kimia nanopartikel logam, atau penggunaan monolayer rakitan dari *polystyrene nanosphere* sebagai cetakan dan deposisi logam berikutnya untuk membuat struktur nano logam yang disebut *nanosphere lithography* atau pemanfaatan gangguan litografi. Teknik-teknik ini, tidak dapat mengontrol posisi struktur logam nano. Disisi lain, litografi sinar elektron dan fokus sinar ion litografi yang digunakan untuk membuat struktur logam nano pada posisi yang diinginkan dengan presisi tinggi. Struktur nano berbasis LSPR dapat dimanfaatkan dalam mendeteksi

DNA hibridisasi, pemantauan jarak intramolekul (penguasa molekul), nanolitografi [37] dan dibantu rekaman panas magnetik [38].

3.4 Lingkungan dan energy harvesting

Perangkat mikro dan nano juga memainkan peran penting dalam pemantauan lingkungan. Salah satu perangkat utama di daerah ini adalah analisa gas mikro yang digunakan untuk mengukur spesies gas di lingkungan atau analisis atmosfer dan diagnosa medis. Perangkat penginderaan yang lebih kecil memberikan permukaan yang lebih besar terhadap volume yang menghasilkan sensitivitas yang lebih tinggi dan resolusi temporal yang lebih baik. Perangkat tersebut telah berhasil diterapkan untuk aplikasi nyata seperti lingkungan alam pemantauan, pemeriksaan pencemaran udara, analisis gas ledak, dan deteksi gas. Analisis ini biasanya dibagi menjadi metode kimia basah dan kering yang terdiri dari instrumen yang berbeda. Salah satu metode pemanfaatan analisis gas serta fisik, kimia atau biologi perangkat penginderaan lainnya adalah untuk menerapkannya sebagai jaringan sensor nirkabel yang terdiri dari sensor otonom didistribusikan spasial untuk mengumpulkan data dan kooperatif melewati data melalui jaringan ke stasiun kontrol utama. Jaringan sensor nirkabel seperti dapat menemukan pemanfaatannya untuk banyak aplikasi seperti pemantauan polusi udara, deteksi longsor atau pemantauan struktural. Untuk mengoperasikan sensor nirkabel, hanya sebagian kecil energi yang dibutuhkan, dengan demikian, mengarah ke teknologi baru yang disebut *energy harvesting*.

Energy harvesting adalah proses dimana energi ditangkap dari sumber eksternal seperti tenaga surya, energi panas, energi angin, dan energi kinetik, dan diubah menjadi bentuk yang bermanfaat. Meskipun teknologi *energy harvesting* dapat mengkonversi hanya sedikit, tetapi hal itu dianggap sebuah generator listrik baru yang penting karena kemampuan beradaptasi yang lebih luas, untuk berbagai sumber energi bebas dan kesesuaian untuk perangkat nirkabel. *Energy harvesting* dapat dibagi menjadi empat pendekatan: *energy harvesting* dari gerakan dan getaran, *energy harvesting* dari perbedaan termal dan RF *energy harvesting*. Daya yang diharapkan dari pendekatan ini adalah 4-100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 0,03-1 mW/cm^2 , 0,01-10 mW/cm^2 , dan sekitar 0,1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, masing-masing cukup memadai untuk node sensor dalam aplikasi jaringan sensor. Untuk mengkonversi gerakan atau getaran, mekanisme transduksi didirikan berdasarkan elektrostatis, piezoelektrik, dan prinsip-prinsip elektromagnetik. Sementara, *energy harvesting* panas didasarkan pada efek Seebeck: ketika dua persimpangan, terbuat dari dua konduktor yang berbeda, mengalami perbedaan suhu, tegangan rangkaian terbuka berkembang di antara keduanya. Untuk sel fotovoltaik, akan mengkonversi foton masuk menjadi listrik, sementara RF energi *ambient* tersedia melalui layanan telekomunikasi publik juga merupakan sumber daya potensial yang kecil. Namun, *output* dari *energy harvesting* ini tidak cocok untuk aplikasi utama listrik karena variasi dalam kekuatan dan tegangan lebur. Oleh karena itu, kontak manajemen daya diperlukan bersama dengan penyangga energi seperti baterai untuk aplikasi praktisnya [39].

Pendekatan lain generator listrik mikro adalah pemanfaatan teknologi konversi energi bahan bakar yang mirip dengan teknologi konvensional. Tujuan utamanya adalah untuk mengembangkan portabel, sistem tenaga generasi otonom dengan peningkatan kepadatan energi lebih dari baterai. Teknik-teknik untuk mengubah energi bahan bakar menjadi energi yang dapat digunakan telah dikelompokkan ke dalam empat kategori: pembakar mikro, mesin panas, roket, dan sel bahan bakar.

4. Kesimpulan

Teknik mikro dan nanolitografi meliputi fotolitografi, litografi sinar elektron, litografi terfokus sinar ion, litografi lunak, litografi nanoimprint dan *scanning probe lithography* dan litografi nanosper. Masing – masing teknik memiliki aplikasi tersendiri: fotolitografi untuk pembuatan IC, *microchip* dan perangkat MEMS termasuk *accelerometers* mikro, DMDs, sensor tekanan MEMS, *micropumps*, *microvalves*, *switch optic*, kepala inkjet, *microgrippers*, dan *microactuators*; litografi terfokus sinar ion dan berkas elektron untuk pola nano dalam R&D, fabrikasi foto-topeng dan produksi IC; litografi lunak untuk berbagai aplikasi LOC; litografi nanoimprin untuk bio-sensor, bio-elektronik, saluran nano, dan kabel nano, serta *dip-pen lithography* untuk bio-elektronik, bio-sensor, dan sensor gas. Teknologi nanolitografi menjadi teknik terdepan dalam teknologi dan nanosains. Kemajuan dalam teknologi dan nanosains mengarah kepada revolusi teknologi di berbagai perangkat elektronik generasi berikutnya dalam bidang kesehatan, kosmetik sampai tekstil, dan dari pertanian ke bisnis teknologi tinggi.

Referensi

- [1] Pease, R. F. & Chou, S. Y., 2008, Lithography and other patterning techniques for futureelectronics. *Proc. IEEE.* **96**, 248-270.
- [2] Bain, C. & Whitesides, G. M., 1989, Modeling organic surfaces with self assembled monolayers *Angew. Chem., Int. Ed.* **28**, 506-512.
- [3] Chou, S. Y. & Krauss, P. R., 1997, Imprint lithography with sub-10nm feature size and high throughput. *Microelectronic Eng.* **35**, 237-240.
- [4] Madou, M. J., 2002, *Fundamentals of Microfabrication: The Science of Miniaturization* 2nd ed New York: CRC.
- [5] Vieu, C., Carcenac, F., Pepin, A., Chen, Y., Mejias, M., Lebib, A., Manin-Ferlazzo, L., Couraud, L., and Launois, H., 2000, Electron beam lithography: resolution limits and applications. *Appl. Surf. Sci.* **164**, 111-117.
- [6] Melngailis, J., 1987, Focused ion-beam technology and applications. *J. Vac. Sci. Technol. B.* **5**, 469-495.
- [7] Tseng, A. A., Notargiacomo, A. T., Chen, P., 2005, Nanofabrication by scanning probe microscope lithography: A review. *J. Vac. Sci. Technol. B.* **23**, 877-894.
- [8] Peer, D., Karp, J. M., Hong, S., Farokhzad, O., Margalit, R., Langer, R., 2007, Nanocarriers as an emerging platform for cancer therapy. *Nat. Nanotechnol.* **2**, 751–760.
- [9] Kabanov, A., V., Gendelman, H. E., 2008, Nanomedicine in the diagnosis and therapy of neuro degenerative disorders. *Prog. Polym. Sci.* **32**, 1054–1082.
- [10] Gates, B. D., Xu, Q., Stewart, M., Ryan, D., Willson, C. G., Whitesides, G. M., 2005, New approaches to nanofabrication: Molding, printing, and other techniques. *Chem. Rev.* **105** 1171-1196.
- [11] Le Gac, S., & Van den Berg, A., 2009 Single cells as experimentation units in lab-on-a-chip devices *Trends Biotechno* **28**, 55-62.
- [12] Pimpin, A. & Srituravanich, W., 2012, Review on Micro- and Nanolithography Techniquesand their Applications. *Engineering Journal* **16** (1), 38-55.
- [13] Hagen, A. E., 2009, Resists for sub-20-nm electron beam lithography with a focus on HSQ: state of the art. *Nanotechnol.*
- [14] Altissimo, M., 2010, E-beam lithography for micro-/nanofabrication. *Biomicrofluidics*, 3-6.

- [15] Lipomi, D. J., Martinez, R. V., Cademartiri, L., & Whitesides, G. M., 2012, Soft Lithographic Approaches to Nanofabrication. *Polymer Science: A Comprehensive Reference* **7**, 211-229.
- [16] Qin Dong, Y. Xia & Whitesides, G. M., 2010, Soft Lithography For Micro and Nanoscale Patterning. *Nature Protocols* **5** (3), 491-502.
- [17] Piner, R. D., Zhu, J., Xu, F., Hong, S., & Mirkin., C. A., 1999, Dip-pen" nanolithography. *Science* **283**, 661-663.
- [18] Shim, W., Braunschweig, A. B., Liao, X., Chai, J., Lim, J. K., Zheng, G. F., Mirkin, C. A., 2011 Hard-tip, Soft-spring Lithography. *Nature* **469**, 516-520.
- [19] Tan, B. J. Y., Sow, C. H. T., Koh, S., Chin, K. C., Wee, A. T. S., Ong, C. K., 2005, Fabrication of size-Tunable gold nanoparticles array with nanosphere lithography reactive ion etching and thermal annealing. *J. Phys. Chem.* **109**, 11100-11109.
- [20] Ko, W. H., 2007, Trends and frontiers of MEMS. *Sens Actuators A* **136**, 62–67.
- [21] Kessel, P. R., Van, L., Hornbeck, J., Meier, R. E., & Douglass, M. R., 1998, A MEMS-based projection display. *Proc. IEEE.* **86**, 1687–1704.
- [22] Cugat, O., Delamare, J., & Reyne, G., 2003, Magnetic micro-actuators and systems (MAGMAS). *IEEE Trans. Magn.* **39**, 3607-3612.
- [23] Kundu, A., Jang, J. H., Gil, J. H., Jung, C. R., Lee, H. R., Kim, S. H., Ku, B., & Oh, Y. S., 2007, Micro-fuel cells - Current development and applications. *J. Power Sourc.* **170**, 67-78.
- [24] Chow, A. Y., Chow, V. Y., Packo, K. H., Pollack, J. S., Peyman, G. A., & Schuchard, R., 2004, The artificial silicon retina microchip for the treatment of vision loss from retinitis pigmentosa. *Arch. Ophthalmol.* **122**, 460-469.
- [25] Whitesides, G. M., 2006, The origins and the future of microfluidics. *Nature* **442**, 368-373.
- [26] Trietsch, S. J., Hankemeier, T., & van der Linden, H. J., 2011, Lab-on-a-chip technologies for massive parallel data generation in the life sciences: A review," *Chemometr. Intell. Lab. Sys.*
- [27] Suzuki, C-M. Ho & Kasagi, N., 2004, A chaotic mixer for magnetic bead-based micro cellsorter. *J. Microelectromech. Syst.* **13**, 779-790.
- [28] Balasubramanian, K., 2010, Challenges in the use of 1D nanostructures for on-chip biosensing and diagnostics: A review. *Biosens. Bioelectron.* **26**, 1195-1204.
- [29] Suh, W. H., Suslick, K. S., Stucky, G. D., & Suh, Y. H., 2009, Nanotechnology, nanotoxicology, and neuroscience. *Prog. Neurobiol.* **8**, 133-170.
- [30] Leoni, L., Boiarski, A. T. & Desai, A., 2002, Characterization of nanoporous membranes for immunoisolation: diffusion properties and tissue effects. *Biomed. Microdev.* **4**, 131-139.
- [31] Mitchell, D. T., Lee, S. B., Trofin, L., Li, N., Nevanen, T. K., & Soderlund, H., 2002, Smart nanotubes for bioseparations and biocatalysis. *J. Am. Chem. Soc.* **124**, 11864-11865.
- [32] Sershen, S. R., Westcott, S. L., Halas, N. J., & West, J. L., 2000, Temperature-sensitive polymer-nanoshell composite for photothermally modulated drug delivery. *J. Biomed. Mater. Res.* **51**, 293-298.
- [33] Li, Y., Qian, F., Xiang, J., & Lieber, C. M., 2006, Nanowire electronic and optoelectronic devices. *Mater. Today.* **9** (10), 18-27.
- [34] Allan, R., 2003, Medtronic sets the pace with implantable electrodes. *Electronic Design*.
- [35] Barnes, W. L., Dereux, A., & Ebbesen, T. W., 2003, Surface plasmon subwavelength optics. *Nature* **424**, 824-830.
- [36] Bethe, H. A., 1944, Theory of diffraction by small holes. *Phys. Rev.* **66**, 163-182 .

- [37] Uppuluri, S. M., Kinzel, E. C., Li, Y., & Xu, X., 2010, Parallel optical nanolithography using nanoscale bowtie aperture array. *Opt. Express.* **18** (7), 7369-7375.
- [38] Challener, W. A., Peng, C., Itagi, A. V., Karns, D., Peng, W., Peng, Y., Yang, X., Zhu, X., Gokemeijer, N. J., Hsia, Ju, Y. T. G., Rottmayer, R. E., Seigler, M. A., & Gage, E. C., 2009 Heat-assisted magnetic recording by a near-field transducer with efficient optical energy transfer. *Nat. Photon.* **3** (5), 220-224.
- [39] Lhermet, H., Condemine, C., Plissonnier, M., Salot, R., Audebert, P., & Rosset, M., 2008, Efficient management circuit: from thermal energy harvesting to above-IC microbattery energy storage. *IEEE J. Solid-State Circ.* **43**, 243-246.

Sputtering Untuk Teknik Deposisi Lapis Tipis ***(Sputtering as Thin Layer Deposition Technique)***

**Ika Nurmawanti*, Lila Yunita, Putri Luthfiana S, Putri Rahmawati, Santika K P, Sri Mulyatmi,
Teguh Endah Saraswati**

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Kentingan, Surakarta, Indonesia, 57126*

*E-mail: nurmawantiika@gmail.com

Abstrak. *Sputtering* merupakan suatu teknik mendeposikan ion atau atom ke permukaan substrat atau material dimana salah satunya diterapkan dalam pembuatan film tipis. Teknologi *sputtering* dipilih karena memiliki berbagai keuntungan salah satunya kemampuannya mendeposikan berbagai jenis logam dan paduan logam. Ada tiga metode *sputtering* yang sudah sering digunakan dalam pembuatan film tipis yaitu DC *sputtering*, RF *sputtering* dan magnetron *sputtering*. DC *sputtering* merupakan teknik paling sederhana yang memanfaatkan ionisasi gas Ar yang dialirkan secara kontinyu dalam proses deposisi. Berbeda dengan DC *sputtering* yang hanya bisa menggunakan target yang bersifat konduktor, RF *sputtering* dapat menggunakan target yang bersifat isolator, konduktor, resistor dan dielektrik. Prinsip RF *sputtering* ini yaitu dengan adanya katoda (target) dan anoda dalam rangkaian dengan sebuah bloking kapasitor (C) menggunakan sumber RF. Adanya tambahan sumber RF dapat membuat gas Ar dalam fase plasma sehingga deposisi yang dihasilkan lebih baik. Selanjutnya metode magnetron *sputtering* menggunakan prinsip perendaman permukaan katoda dalam medan magnet berbentuk khusus, sehingga dapat meningkatkan efisiensi ionisasi sehingga mempercepat proses deposisi. Aplikasi *sputtering* digunakan untuk pembuatan *thin film* yang dapat meningkatkan laju deposisi. Tujuan dari modifikasi pelapisan permukaan menggunakan film tipis merupakan suatu langkah perbaikan sifat fisik dan mekanik dari suatu material.

Kata kunci: *sputtering*, lapis tipis, DC *sputtering*, RF *sputtering*, magnetron *sputtering*

Abstract. *Sputtering* is a technique to deposit ions or atoms on substrate or material surface, which can be applied in the manufacture of thin film. *Sputtering* technology has many advantages to deposit various metals and metal alloys. There are three methods of *sputtering* which have been frequently used in the manufacture of thin film, which are DC *sputtering*, RF *sputtering* and Magnetron *sputtering*. DC *sputtering* is the simplest technique which utilizes ionized Ar gas which is flowed continuously in deposition process. Unlike the DC *sputtering* that only uses a conductor target, RF *sputtering* can use insulator, conductor, resistor and dielectric targets. In RF *sputtering* setup, the cathode as a target and the anode are set in the series with a blocking capacitor (C) using the RF source. The additional of RF source change the Ar gas phase into plasma thus it generate better deposition. Furthermore, magnetron *sputtering* method has the principle of the cathode surface immersion in a specially shaped magnetic field, increasing the ionization efficiency in order to accelerate the deposition process. The use of *sputtering* technique on thin film fabrication will able to

increase the rate of deposition. The purpose of surface coating modification using thin film is to improve physical and mechanical properties of the material.

Keywords: sputtering, thin film, DC sputtering, RF sputtering, magnetron sputtering

1. Pendahuluan

Tahap pemrosesan dilakukan secara sistematis dan berulang agar dapat menghasilkan sebuah rangkaian atau komponen film tipis. Setiap proses mempunyai prosedur dan teknik pembuatan masing-masing. Salah satu proses yang harus dilakukan pada pembuatan komponen atau rangkaian film tipis yaitu pelapisan bahan (deposisi) pada substrat dengan menggunakan sistem *sputtering*. Sistem *sputtering* dapat melapiskan berbagai jenis logam maupun paduan logam (*metal alloy*) atau non logam pada substrat sehingga dalam industri rangkaian hibrid, sistem *sputtering* banyak dipakai sebagai salah satu langkah utama untuk membuat lapisan film tipis (*Thin Film Layer*) pada substrat [1].

Sputtering merupakan suatu teknik mendepositikan ion atau atom ke permukaan substrat atau material [2]. Atom target padat dikeluarkan (atau diuapkan) karena transfer momentum dari partikel energik berukuran atom pada target permukaan. Partikel yang menguap ini kemudian akan mengembun pada bahan dan matel substrat. Biasanya *sputtering* dilakukan dengan menggunakan ion gas dari plasma kemudian dipercepat dan diarahkan menuju sasaran [3]. Teknik *sputtering* ini merupakan pengembangan dari teknik *coating* yang mana memiliki keunggulan berupa dapat mendepositikan material tanpa proses pelehan dan pelekatan antar material yang terjadi lebih kuat serta umur pemakaiannya lebih lama [4].

Pelapisan dengan *sputtering* juga dikenal sebagai “*sputtering cathodic*” yang bersifat erosif dalam mempercepat ion terdepositi pada material target. Ion-ion ini memiliki energi yang cukup untuk memindahkan (*sputter*) partikel pada permukaan target. Dalam bentuk yang paling sederhana, dibawah kondisi medan listrik vakum tinggi yang dihasilkan antara piringan (target) katoda dan anoda yang dipercikkan (*sputter*). Dengan cara tegangan listrik yang bekerja, umumnya argon (Ar) terionisasi melepaskan cahaya. Karena posisi target yang tersimpan pada tegangan negatif, ion Ar⁺ lebih cepat menuju target dan memercikkan atom pada permukaannya. Beda dengan evaporasi termal, pada *sputtering*, partikel tidak tergeser oleh panas, tapi dengan “transfer momentum” secara langsung (tumbukan tak elastis) antara ion dan atom pada material yang di depositi. Energi tertentu dibutuhkan untuk memindahkan atom dari permukaan target dan membawa mereka ke vakum. Hal ini menunjukkan efisiensi *sputtering*, yang mana memiliki rasio material yang dipercikkan per ion Ar⁺. Proses *sputtering* memiliki energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses evaporasi termal yang artinya bahwa material yang dipercikkan biasanya dalam bentuk ion dengan kemampuan menghasilkan lapisan yang sangat padat [5].

Sistem *sputtering* merupakan sistem yang paling banyak memberikan keuntungan dibandingkan dengan vakum evaporasi yaitu: dapat melapis film dari jenis logam, paduan logam, isolator, semikonduktor bahkan logam magnetik, kecepatan pendepositian untuk setiap jenis bahan tidak jauh berbeda, dapat melakukan pendepositian banyak lapisan (multilayer) dengan baik karena kemampuan melapisi berbagai jenis logam, ketebalan film lebih mudah dan sederhana untuk diamati dan dikendalikan, serta daya adhesi antara film dan permukaan substrat lebih kuat [1].

Ada beberapa macam teknologi *sputtering* dalam proses pembuatan film tipis, antara lain DC *Sputtering*, RF *Sputtering* dan Magnetron *sputtering* [6]. Masing-masing metode *sputtering* tersebut

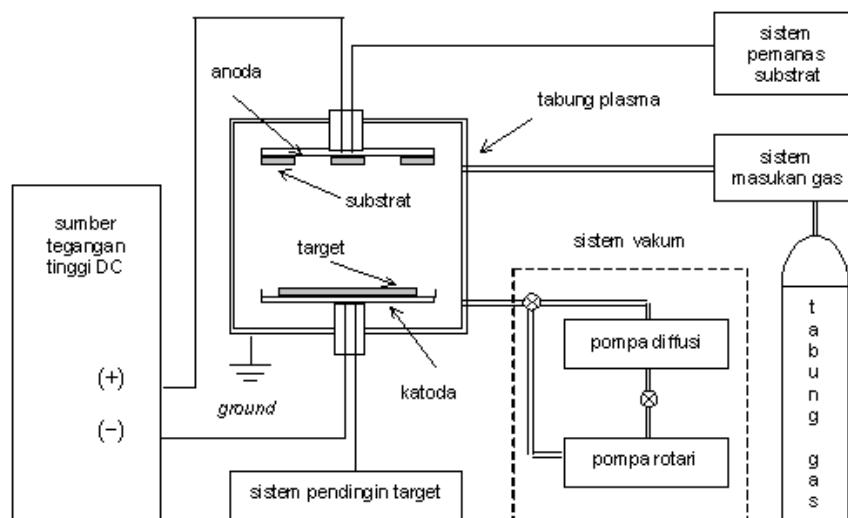
memiliki kelebihan dan kekurangan. Kinerja dan pengaplikasian dari masing-masing metode *sputtering* merupakan fokus dari pembahasan dalam paper ini.

2. Teknik Sputtering

2.1 DC Sputtering

DC sputtering merupakan teknik *sputtering* paling sederhana yang terdiri dari sepasang elektroda berupa anoda dan katoda dengan letak saling berhadapan di dalam sebuah tabung vakum yang dilengkapi dengan pompa aliran gas. Pada katoda, terdapat target berupa material yang akan di depositikan sedangkan pada anoda terdapat substrat. Gas yang biasanya digunakan adalah gas argon (Ar) yang dialirkan secara kontinyu pada tekanan 10^{-1} s/d 10^{-2} torr. Gas argon sering digunakan sebagai media pembentuk plasma karena memiliki massa yang lebih besar daripada gas mulia lain dan lebih mudah mengalami ionisasi [7].

Proses *sputtering* ditunjukkan Gambar 1, diawali saat dihasilkan lucutan listrik dan gas argon secara elektris menjadi konduktif karena mengalami ionisasi. Lucutan listrik yang bertekanan rendah dikenal sebagai lucutan pijar (*glow-discharge*). Gas yang terionisasi akan menghasilkan ion-ion bermuatan positif dan ion-ion bermuatan negatif dengan jumlah muatan yang seimbang yang disebut sebagai plasma. Plasma terbentuk karena adanya perbedaan tegangan antara anoda dan katoda sehingga menimbulkan medan listrik. Gas argon yang terionisasi akan dipercepat oleh medan listrik kemudian bertumbukan dengan atom gas argon lain yang belum terionisasi, sehingga menghasilkan ion-ion bermuatan positif, ion-ion bermuatan negatif (elektron) dan molekul-molekul gas tereksitasi. Elektron akan mendapatkan energi dari medan listrik dan bertumbukan dengan atom-atom gas argon kemudian tumbukan tersebut akan menyebabkan ionisasi kembali terjadi pada atom-atom gas argon yang menghasilkan ion-ion bermuatan positif, elektron-elektron dan molekul-molekul gas tereksitasi. Tumbukan yang terjadi antar partikel-partikel ini terjadi secara kontinyu dan pada kondisi tertentu, ion-ion bermuatan negatif dan ion-ion bermuatan positif akan memiliki jumlah muatan yang seimbang [8].

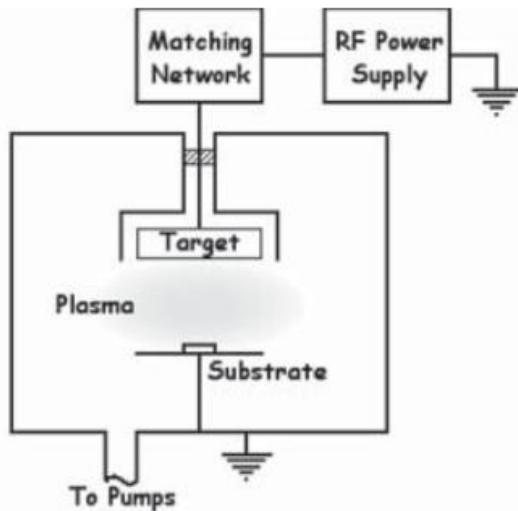


Gambar 1. Skema DC Sputtering [10].

Ion-ion argon secara mikroskopik menumbuk target, karena target dihubungkan dengan terminal negatif, maka target akan menarik ion-ion argon bermuatan positif (Ar^+) yang dihasilkan dalam lucutan pijar dan dipercepat pada daerah jatuh katoda (*cathode-fall*). Energi ion-ion argon bermuatan positif (Ar^+) sangat tinggi pada saat menumbuk target, sehingga menyebabkan atom-atom permukaan target terlepas dari ikatan atomnya dan terpercik ke segala arah. Atom-atom permukaan target yang terpercik akan masuk dan melewati daerah lucutan hingga akhirnya terdeposisi pada substrat untuk membentuk penumbuhan lapisan. Energi atom-atom yang terpercik saat menumbuk permukaan substrat sangat besar, yaitu sekitar 2 hingga 30 eV [9].

2.2 RF Sputtering

RF *Sputtering* ditemukan pada tahun 1960 dan telah banyak dikembangkan dalam produksi isolasi suatu pelapis dan film seperti penelitian Davides dan Maisel yang mengembangkan produksi film dielektrik pada tahun 1966. Pada RF *sputtering*, dengan frekuensi 13,56 Mhz [11] akan digabungkan dengan target material melalui jaringan impedansi yang sesuai dan bloking kapasitor, seperti ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Skema RF *Sputtering* [12].

Bloking kapasitor berperan untuk memastikan bahwa waktu rata-rata jaringan aliran listrik pada masing-masing elektroda adalah nol. Target dan *counter* elektroda menjadi tempat substrat juga bertindak sebagai elektroda. Saat *power supply* RF dipasang dengan frekuensi tertentu, maka elektron akan terosilasi diantara kedua elektroda. Target yang digunakan pada RF *sputtering* adalah material bersifat isolator dimana material yang tidak dapat dideposisi dengan metode DC *sputtering* karena percepatan potensial tidak dapat digunakan secara langsung pada permukaan isolator.

RF-*sputtering* mempunyai banyak kelebihan dibandingkan DC-*sputtering* karena selain bahan isolator, sistem ini juga dapat menggunakan target jenis konduktor, resistor, dan dielektrik. Dengan

kelebihan yang dimiliki RF-konduktor, resistor, dan dielektrik menambah fungsi dan kegunaan dari sistem *sputtering* itu sendiri sehingga sistem ini banyak dipakai pada industri-industri elektronik khususnya dalam bidang teknologi *thin film*.

2.3 Magnetron Sputtering

Magnetron *sputtering* adalah teknik pelapisan vakum untuk menyimpan logam, paduan dan senyawa ke berbagai bahan dengan ketebalan sampai sekitar 5 μm . Hal ini menunjukkan beberapa keuntungan penting jika dibandingkan dengan teknik pelapisan vakum lainnya dan ini telah menyebabkan pengembangan sejumlah aplikasi komersial mulai dari mikroelektronika fabrikasi hingga pelapis dekoratif sederhana.

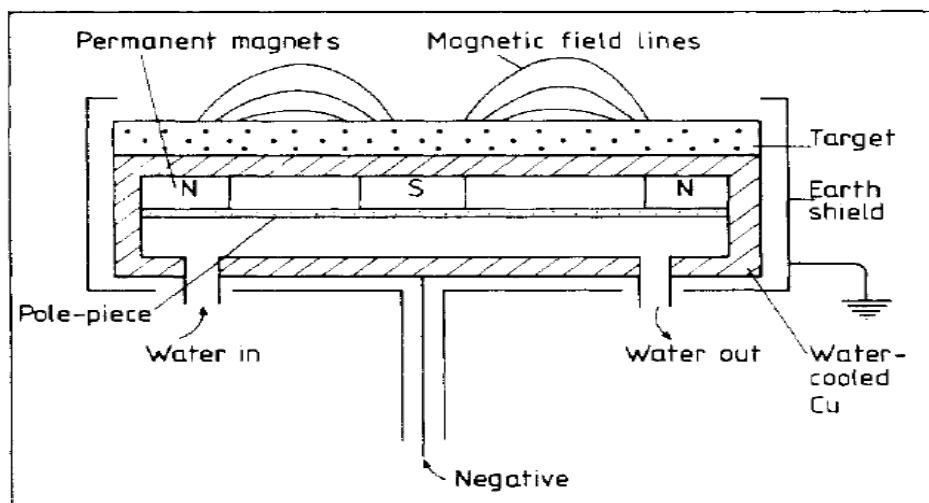
Sebelum magnetron *sputtering*, telah muncul teknik pelapisan vakum lain seperti evaporasi termal dan evaporasi elektron beam. Namun teknik ini menunjukkan kelemahan tertentu. Secara khusus, paduan dan logam tahan api menimbulkan masalah karena perbedaan tekanan uap dan titik leleh. Selain itu, senyawa dapat terdisosiasi menjadi senyawa kimia pada tekanan penguapan yang rendah. Magnetron *sputtering* mengatasi masalah ini dan memiliki banyak keuntungan lainnya.

Keuntungan penggunaan magnetron *sputtering* yaitu kecepatan deposisi tinggi, kemudahan *sputtering* setiap logam (paduan atau senyawa), kemurnian film tinggi, adhesi yang tinggi dari film, cakupan yang sangat baik dari langkah-langkahnya, kemampuan untuk melapisi substrat peka terhadap panas, kemudahan otomatisasi dan keseragaman sangat baik pada substrat.

Magnetron menggunakan prinsip dengan menerapkan medan magnet berbentuk khusus. Prinsipnya adalah bahwa permukaan katoda direndam dalam medan magnet lalu tercipta perangkap elektron sehingga terdapat arus $E \times B$ yang mengalir dalam medan magnet. Prinsip itu ditemukan sejak tahun 1930-an oleh Penning tetapi hanya digunakan dalam konteks magnetron *coating* selama sekitar 15 tahun [13].

Pada dasarnya pengoperasian sumber magnetron bergantung pada kenyataan bahwa elektron primer dan sekunder terjebak dalam daerah dengan katoda. Sehingga akan terjadi tumbuhan pengion dengan atom gas yang semakin meningkat dan efisiensi ionisasi juga meningkat. Hal itu menyebabkan impedansi plasma untuk menjatuhkan sumber magnetron pada tekanan yang lebih rendah dari sistem dioda (500-600 V dibandingkan dengan beberapa kV). Efisiensi ionisasi yang lebih besar ini mengarah langsung ke peningkatan kepadatan arus ion ke target yang sebanding dengan tingkat erosi dari target.

Ada beberapa jenis desain magnetron diantaranya magnetron pos dan magnetron planar. Namun bentuk tersebut hanya varian dari prinsip geometris namun secara fisik sama. Secara umum arus elektron dikendalikan hingga elektron terjebak. Magnetron *sputtering* model planar paling banyak disukai karena desain yang sederhana serta memiliki kemampuan untuk memperluas katoda hampir semua ukuran yang dibutuhkan. Hal yang paling mudah untuk mempertimbangkan pembuatan magnetron planar. Elektromagnet atau magnet permanen dapat digunakan tetapi lebih mengutamakan kesederhanaan desain. Fitur yang penting pada magnetron planar yaitu bahwa garis-garis medan magnet membentuk bentuk terowongan di depan permukaan target. Untuk mencapai sebuah elektron yang terperangkap secara efisien maka kekuatan bidang minimal sekitar 20 mT. Skema magnetron *sputtering* ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Skema Magnetron *Sputtering* [13].

Sedangkan Gambar 4 merupakan sumber magnetron dalam sistem Edward ESM 100 yang menunjukkan penampilan target magnetron yang dipasang dalam sistem vakum:



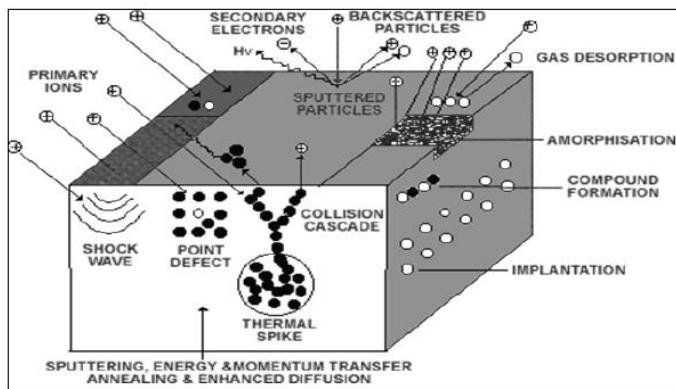
Gambar 4. Sumber magnetron dalam sistem Edward ESM 100 [13].

3. Aplikasi *Sputtering* Untuk Pembuatan *Thin Film*

Beberapa tahun terakhir, penggunaan teknologi *sputtering* baik DC maupun RF semakin menarik minat. Aplikasi yang paling sering digunakan adalah pembuatan *thin film* dalam skala industri, contohnya adalah pembuatan *thin film* untuk resistansi *hardware* (Rodil dan [14]) *low-friction thin film*, *thin film* untuk anti korosidan, *thin film* yang digunakan untuk melindungi perangkat optik [15].

Teknik *sputtering* dapat meningkatkan laju deposisi dan energi ion dengan menggunakan daya tinggi unipolar dari frekuensi rendah dan siklus pendek menuju katoda target yang sering disebut sebagai *high power impulse magnetron sputtering* (HiPIMS) atau *high power pulse magnetron sputtering* (HPPMS). Dan saat ini, teknik ini menunjukkan keberhasilan dalam pembuatan *thin film*.

Fenomena fisika yang terlibat dalam teknik *sputtering* adalah transfer momentum antara partikel berukuran atomik (biasanya ion dari gas mulia) dan atom yang berada pada permukaan material target. Gambar 5 menunjukkan perbedaan yang mungkin terjadi pada interaksi antara muatan partikel dan permukaan material.



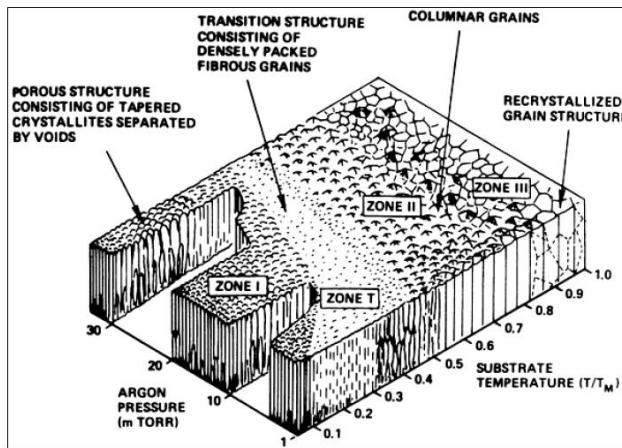
Gambar 5. Proses fisik yang dihasilkan dalam teknik *sputtering* [16].

Struktur mikro dari *thin film* tergantung pada pergerakan dari atom-atom selama pertumbuhan. Suplai energi yang disediakan untuk atom-atom melalui mekanisme efek termal, *bionic bombardment* dan reaksi kimia yang terjadi pada substrat. Efek yang terjadi dari mekanisme pertumbuhan *thin film* ini dapat diamati dengan menggunakan *structure zone model* (SZM). SZM dapat menentukan morfologi dan struktur mikro dari film sebagai fungsi atom dan tidak tergantung pada jenis materialnya. Parameter dari SZM yang dapat digunakan dalam menentukan struktur mikro dari *thin film* secara mendasar adalah suhu dari substrat, tekanan akhir, tegangan bias yang digunakan pada substrat dan karakteristik termal dari targetnya. Sebagai contoh adalah penelitian yang dilakukan oleh [17] telah menetapkan bahwa struktur mikro dari *thin film* beberapa logam Ti, Ni, ZrO₂ y Al₂O₃ berhubungan dengan suhu normal dan menunjukkan bahwa pada *metallic film* terdapat 3 zona yang baik.

Thorton [18] telah menguraikan klasifikasi zona tersebut, dengan memperhatikan tekanan akhir karena parameter pertumbuhan ini dapat mengubah kedua energi kinetik dari ion yang datang ke substrat dan jalan bebas rata-rata dari partikel, yang mengijinkan peningkatan atau penurunan *bombardment* pada permukaan substrat. Pada model Thorton, zona T merupakan zona tradisional. Zona T dibentuk dari butiran yang ditentukan oleh batas dari *low porosity*. Permukaan dari zona T ditunjukkan pada Gambar 6.

Messier [19] juga menemukan bahwa dalam *thin film* TiB₂, BN dan SiC terdapat batas non-linear antara zona pertama dan zona T, yang merupakan fungsi dari tegangan bias pada substrat. Tegangan bias substrat mempunyai efek yang sama pada mobilitas dan adsorpsi atom sebagai peningkatan suhu, ketika zona T meningkat dan zona pertama menurun, sehingga *thin film* padat dan derajat kristalinitas tinggi.

Tegangan bias dapat mempengaruhi sifat mekanik dari *thin film*, misalnya tegangan ($\geq 100V$) diterapkan pada substrat, deformasi kisi meningkat, menyebabkan tingginya usaha sisa dan rendahnya interaksi antara substrat dan film.



Gambar 6. Permukaan dari zona T [18].

3.1 Aplikasi Thin Film

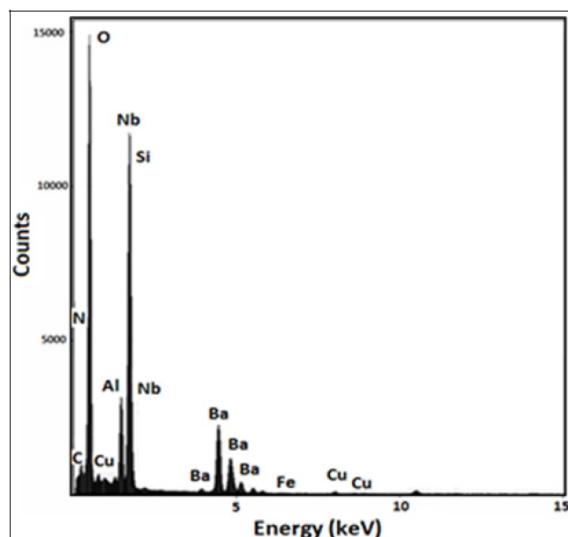
Modifikasi Permukaan dengan cara deposisi *thin film* adalah sebuah proses penting yang digunakan untuk melindungi bahan dasar terhadap keausan, korosi dan banyak fenomena terkait kerusakan permukaan lainnya. Metode teknik deposisi uap fisik *plasma-assisted (plasma technique-assisted physical vapor deposition)* memberikan fleksibilitas yang besar untuk membuat film dengan struktur kimia dan struktur mikro tertentu, yang mengarah ke lapisan dengan sifat yang unik. Di antaranya, pelapis keramik diendapkan pada substrat logam telah menunjukkan peningkatan yang sangat baik dari sifat permukaan, seperti koefisien gesekannya rendah dan tingkat kekerasan yang tinggi dengan ketahanan aus yang baik dan juga tahan korosi.

Film dari CRN, TiN, ZrN, TaN dan NbN diendapkan menggunakan sistem magnetron *sputtering* tidak seimbang dengan parameter energi yang berbeda untuk menyelidiki efeknya pada beberapa sifat film. Gambar 7 menunjukkan hasil utama yang diperoleh dalam film ini. Secara umum, dapat diamati bahwa tegangan tekan residual, ditentukan dengan menggunakan metode kelengkungan (*the curvature method*) dan persamaan Stoney [20], dan meningkat dengan parameter energi, meskipun untuk beberapa film variasi ini sangat kecil.

Gambar. 8a menunjukkan kekerasan mikro dari sistem substrat film. Pengukuran kekerasan yang dilakukan pada sampel diendapkan pada alat baja AISI M2. Kekerasan substrat sebesar 800 kg mm^{-2} , kekerasan film adalah 2-3 kali lebih tinggi dari kekerasan substrat. Golongan IV nitrida umumnya lebih sulit dibandingkan Golongan V (Hofmann, 1990). Selain itu, data menunjukkan bahwa kekerasan meningkat sebagai parameter energi meningkat. Hal ini dapat dikaikan dengan peningkatan pemboman ion pada permukaan substrat, meningkatkan mobilitas atom, produksi film lebih padat memiliki efek pada kekerasan tegangan tekan dalam film-film ini [22].

Gambar. 8b menunjukkan bahwa koefisien keausan diperkirakan menggunakan sistem bola hole, yang merupakan tes skala abrasi mikro. Dua benda yang mengaliri abrasi adalah mekanisme keausan yang diamati untuk semua lapisan (tidak ditampilkan), mungkin karena aksi pemotongan-mikro partikel abrasif yang diseret di bola, pada dasarnya sisanya tetap ke permukaan bola selama pengujian [23]. Koefisien keausan semua berada di kisaran $10^{-6} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$, dan nilai terendah diperoleh untuk film NbN dan TaN.

Hal tersebut dapat dilihat bahwa ada sedikit penurunan keausan sebagai parameter energi meningkat, tetapi variasi itu terlalu kecil. Selain itu, tidak ada trend (arah atau jalur) yang jelas diamati sebagai koefisien ketidakseimbangan meningkat. Ini mungkin akibat dari variasi dalam sifat film lainnya, seperti koefisien gesekan atau kekasaran, parameter yang berpengaruh kuat pada kinerja keausan permukaan.

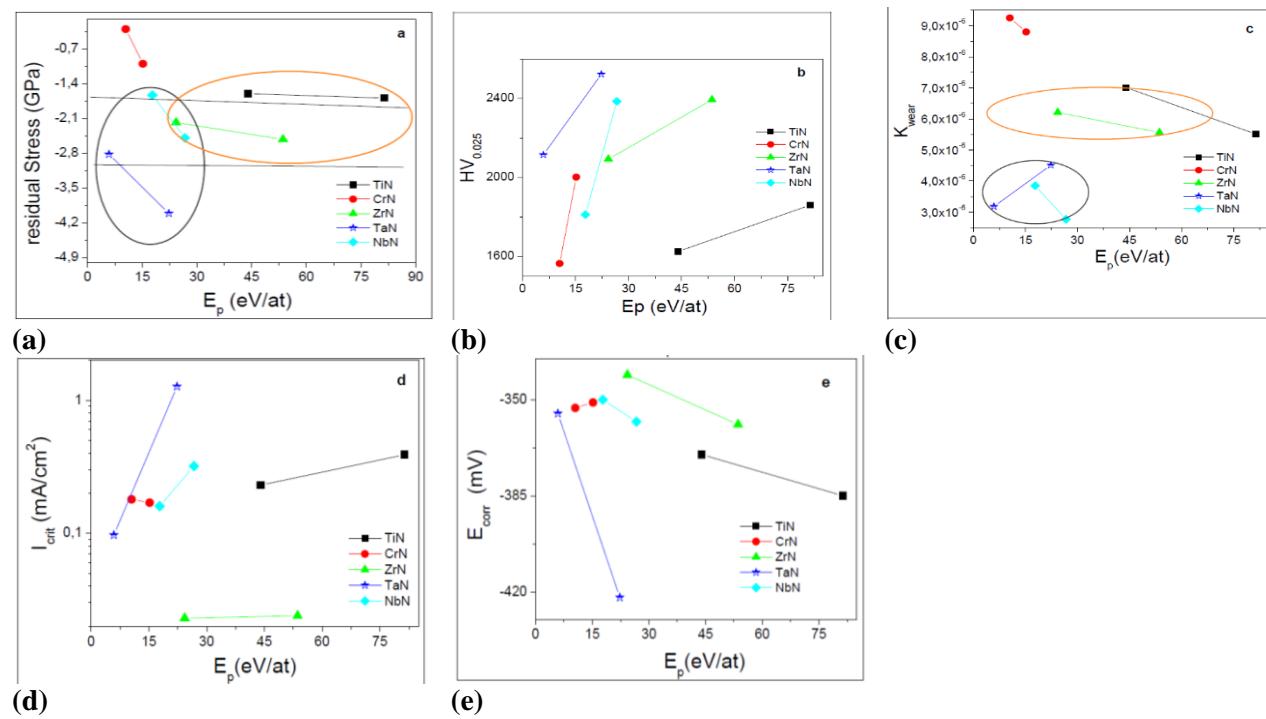


Gambar 7. Spektrum EDX dari NbN nanopartikel yang mengintegrasikan film tipis NbN [21].

Film keramik seperti nitrida logam pada substrat logam umumnya tidak mudah mengalami korosi. Gambar 8 c-d menunjukkan kurva polarisasi potensio dinamik untuk film diendapkan pada AISI 304 substrat pada parameter energi dua dan AISI 304 substrat di elektrolit 0,5 M H₂SO₄ + 0,05 M KSCN. Ketahanan korosi dari materi dalam kurva polarisasi ditentukan oleh kemampuannya untuk mempertahankan kepadatan arus yang rendah sebagai potensi kenaikan listrik.

Critical passivation density menunjukkan bahwa terdapat kontras antara sifat dari film, dimana terjadi penurunan resistansi korosi film pada saat parameter energi (Ep) dinaikkan. *Critical passivation density* proporsional pada area yang nampak pada substrat karena adanya pori atau lubang pin pada film [14]. Besarnya nilai dari I *critical* tergantung pada batasan butiran yang masuk dalam kolom karena butiran-butiran ini dapat mengandung mikropori, lubang pin, lubang, dan microcracks, yang dapat menyebabkan difusi elektrolit dari larutan korosif pada substrat dan meningkatkan degradasi dari *coating*.

Oleh karena itu, pada Gambar. 8 c-d menunjukkan bahwa peningkatan energi ada didaerah substrat yang terkena di bagian bawah pinhole. Pinhole atau cacat biasanya terlokalisasi pada batas butir (*the grain boundaries*), yang didefinisikan oleh proses pertumbuhan kristal, yang akibatnya pada model struktur film terakhir. Kenaikan arus korosi dengan Ep sangat kecil untuk NbN dan TiN film, tetapi secara signifikan lebih tinggi untuk TaN, ZrN dan CRN.



Gambar 8. Ringkasan dari sifat mekanik dan kimia dari film melalui *sputtering*. (a) tegangan sisa (b) kekerasan (c) memakai koefisien (d) *critical passivation current* dan (e) potensial korosi [14].

4. Kesimpulan

Teknik *sputtering* ada tiga yaitu DC, RF, dan magnetron *sputtering*. DC *sputtering* merupakan teknik *sputtering* yang paling sederhana dengan target bersifat isolator, sedangkan RF *sputtering* dapat digunakan target isolator yang tidak dapat dideposisikan oleh DC *sputtering* selain itu target dapat berupa jenis konduktor, resistor, dan dielektrik. *Sputtering* magnetron merupakan teknik pelapisan secara vakum yang memiliki keunggulan dibandingkan teknik pelapisan secara vakum lainnya. Aplikasi *sputtering* digunakan untuk pembuatan *thin film* yang dapat meningkatkan laju deposisi. Pembuatan *thin film* untuk melindungi bahan dasar terhadap keausan, korosi dan banyak fenomena terkait kerusakan permukaan lainnya. Teknik *sputtering* melibatkan fenomena fisika berupa transfer momentum antara partikel berukuran atomik (biasanya ion dari gas mulia) dan atom yang berada pada permukaan material target. Efek yang terjadi dari mekanisme pertumbuhan *thin film* ini dapat diamati dengan menggunakan *structure zone model* (SZM). SZM dapat menentukan morfologi dan struktur mikro dari film sebagai fungsi atom dan tidak tergantung pada jenis materialnya.

Referensi

- [1] Widodo, S., 2012, Teknologi Pendeposisian Film Tipis Metal Dengan Metode Dc-Sputtering *Seminar Nasional Fisika*. 76-81.

- [2] Sujitno, T., Agus, S., Wiryoadi, Bambang, S., & Lely, S. R. M., 2002, Optimasi Parameter Proses *Sputtering* Pada Deposisi Lapis Tipis Titanium Nitrida (TiN) Pada Bahan Aluminium *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN*. Yogyakarta.
- [3] Gennardo, D. J., 2010, Design, Construction, and optimization of a magnetron *sputtering* system for urania deposition *Thesis*. University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, 10-11.
- [4] Sun, M., Xie, K., & Yang, S., 1998, Inner Surface Reaction and Modification of Titanium Alloy by New Plasma Source Ion Implantation *J. Master Res.* **13**, 7.
- [5] Monaco, G., 2016, *Coating Technology: Evaporation Vs Sputterin. R&D Project*, Statisloh, Italy.
- [6] Seshan, K., 2012, *Handbook of thin film deposition*, USA, William Andrew.
- [7] Oscik, J., 1982, *Adsorbsion*, Ellis Hoorwood Limited Publisher, Chichester, USA, John Willet and Son.
- [8] Gas'Kov, A. M. & Rumyantseva, M. N., 2000, Materials for Solid State Gas Sensors. *Inorganic Materials* **36**, 293 – 301.
- [9] Konuma, M., 1992, *Film Deposition by Plasma Technique*, New York, Springer Verlag.
- [10] Zulkifli, Wisnu, 2015, Fabrikasi Elemen Sensor Gas CO Berbasis Media Aktif TiN (Titanium Nirida) dengan Metode Sputtering DC *Skripsi Jurusan Teknik Fisika*. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [11] Jones, R. D., 1982, *Hybrid Circuit Design and Manufacture*, New York, Marcel Dekker Inc.
- [12] Waite, Matthew M., Shah, S. I., & Glocker, D. A., 2010, Sputtering Sources. *Spring Bulletin*.
- [13] Swann, S., 1988, Magnetron Sputtering. *Phys. Technol.* **19**, Printed the UK.
- [14] Olaya, J. J., Rodil, S. E., Muhl, S., & Sánchez, E., 2005, Comparative study of chromium nitride coatings deposited by unbalanced and balanced magnetron sputtering. *Thin solid films*. **474**, 119-126.
- [15] Flores, J. F., Olaya, J. J., Colás, R., Rodil, S. E., Valdez, B. S., & Fuente, I. G., 2013, Corrosion behaviour of TaN thin PVD films on steels. *Corrosion engineering, science and technology*.
- [16] Weissmantel, C.R, 1983, Deposition of Metastable Films by Ion Beam and Plasma Techniques. *Proc. 9th Int. Vacuum Congress and 5th Int. Conf. on Solid Surfaces* (Madrid). 229-308.
- [17] Movchan, B. A. & Demchishin, A. V., 1969, Study of the Structure and Properties of Dioxide thin. *Fiz. Met. Metalloved.* **28**, 83-90.
- [18] Thorton, J. A., 1974, Influence of apparatus geometry and deposition conditions on the structure and topography of thick sputtered coatings. *J. of Vacuum Sci. & Tech.* **11** (4), 666-670.
- [19] Messier, R., Giri, A. P., & Roy, R. A., 1984, Revised structure zone model for thin film physical structure. *J. of Vacuum Sci. & Tech. A.* **2** (2), 500-503.
- [20] Stoney, G. G., 1909, The measurement of stress in layered structures In. *Proc. Roy. Soc.(London)*. **82**, 172-182.
- [21] Cullity, B. D. & Stock, R., 2001, *Elements of X-ray Diffraction*, Prentice Hall.
- [22] Olaya, J. J., Marulanda, D. M., Rodil, S. E., & Bhushan, B., 2009, Propiedades mecánicas de nitruros metálicos depositados con UBM: tecnología eficiente y ambientalmente limpia. *Revista mexicana de física* **55** (6), 425-431.
- [23] Adachi, K. & Hutchings, I. M., 2003, Wear-mode mapping for the micro-scale abrasion test. *Wear*. **255** (1), 23-29.

Aplikasi Scanning Probe Microscope (SPM) untuk Deposisi Material dan Karakterisasi

(*Applications of Scanning Probe Microscope (SPM) for Material Deposition and Characterization*)

Alika Nurainti*, Bima Prakosa N T, Fitri Nur A, Meyta Dyah P, Nana Rismana, Widy Astuti, Yuli Astutik, dan Teguh Endah Saraswati

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36 A, Kentingan, Surakarta 57126 Indonesia*

*E-mail: alikanurainti@student.uns.ac.id

Abstrak. *Scanning probe microscopy (SPM)* merupakan alat yang berguna untuk mengkarakterisasi topografi permukaan sampel pada skala ratusan mikrometer hingga nanometer. Berdasarkan prinsip kerjanya, jenis-jenis SPM meliputi STM (*scanning tunnelling microscopy*), AFM (*atomic force microscopy*) dan EFM (*electrostatic force microscopy*). AFM merupakan salah satu jenis SPM yang memberikan profil permukaan tiga dimensi yang baik. Salah satu aplikasi AFM yaitu mengarakterisasi plastisitas diskrit pada kolagen dalam tendon yang mengalami kelebihan beban/*overload*, dimana hasil yang diperoleh menunjukkan korelasi negatif antara kepadatan molekul dengan kepadatan tekukan dari urat saraf seorang individu. Selain AFM, ada juga STM yang merupakan jenis mikroskop yang prinsip operasinya didasarkan pada fenomena kuantum mekanik yang dikenal sebagai *tunneling*. Salah satu aplikasi penggunaan STM adalah sebagai karakterisasi DNA nanotube, dimana hasil menunjukkan STM mampu mengarakterisasi topografi pada skala 20 nm. Salah satu jenis SPM yang lainnya yaitu *Electrostatic Force Microscopy* (EFM) yang merupakan salah satu teknik scanning yang didasarkan pada interaksi elektrostatisik antara ujung *probe* AFM dan permukaan fasa pada elektroda. Salah satu aplikasinya untuk deposisi karbon pada anoda Nikel.

Kata kunci: mikroskopi, SPM, AFM, STM, EFM

Abstract. *Scanning probe microscopy (SPM)* is a useful tool to characterize the topography of sample surfaces on length scales from hundreds of micrometers up to nanometer. The types of SPM include AFM (*atomic force microscopy*), STM (*scanning tunnelling microscopy*), and EFM (*electrostatic force microscopy*). AFM is one type of SPM that provides a good three-dimensional surface profile. One of the AFM applications is to characterize the discrete plasticity in collagen in a tendon that overloaded, in which the results show a non-linear negative correlation between molecular density and kink density of individual's fibrils. In addition, STM is a type of microscope which its operation is based on a quantum-mechanical phenomenon known as *tunneling*. One example of the STM applications is to characterize DNA nanotube, in which the results show that STM is able to characterize the topography on a scale of 20 nm. Moreover, EFM is one scanning technique that is based on the

electrostatic interaction between the probe tip of AFM and the surface of the phase at the electrode. One application of EFM is for carbon deposition on nickel anodes in solid oxide fuel cells.

Keywords: microscopy, SPM, AFM, STM, EFM

1. Pendahuluan

Scanning Probe Microscopy (SPM) merupakan alat yang berguna untuk mengarakterisasi topografi permukaan pada skala ratusan mikrometer hingga nanometer [1]. SPM menggunakan *probe* atau jarum yang disebut *cantilever*. Prinsip kerja SPM yaitu dengan mendeteksi *tunnel current* (arus listrik yang sangat lemah disebabkan lompatan elektron antara sampel dan *cantilever*) atau gaya antar atom (gaya tarik atau tolak), kemudian bersamaan dengan kontrol parameter tersebut agar selalu konstan, permukaan sampel discan untuk melihat struktur bersekalai atom. SPM mempunyai resolusi yang tinggi baik pada arah horizontal maupun vertikal. Dibandingkan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), SPM memiliki beberapa keunggulan yaitu [2]:

- Pengukuran dapat dilakukan di udara, nitrogen kering, vakum tinggi, dan cairan.
- Memberikan informasi kuantitatif tentang struktur (nilai RMS, analisis fraktal).

Di sisi lain, SPM memiliki pembatasan bidang pandang sekitar $100 \times 100\mu\text{m}^2$. Skrining lebih cepat dan lebih mudah dilakukan dengan optik atau elektron mikroskopi [2].

Saat ini SPM telah banyak mengalami pengembangan, tidak hanya untuk melihat topografi permukaan, tetapi juga bisa untuk mendeteksi medan magnet, elektrostatik, gaya gesek dan parameter fisika lainnya di permukaan sampel. SPM banyak diaplikasikan dalam riset teknologi nano.

Jenis SPM sendiri ada bermacam-macam berdasarkan prinsip cara kerjanya. Beberapa yang kami bahas dalam artikel ini adalah STM (*Scanning Tunnelling Microscopy*), AFM (*Atomic Force Microscopy*), EFM (*Electronic Force Microscopy*). Pada dasarnya prinsip kerjanya sama, yang berbeda adalah energi, kekuatan, gaya apa yang bekerja di antara *cantilever* dan sampel yang dijadikan dasar dalam menentukan tekstur permukaan sampel [3].

2. Pembahasan

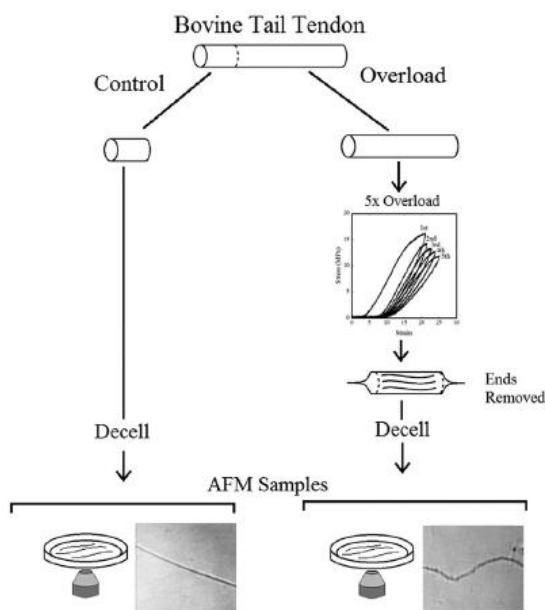
2.1 AFM (*Atomic Force Microscopy*)

Atomic Force Microscopy merupakan alat penting dalam penelitian nanoteknologi yang membutuhkan visualisasi dan pengukuran struktur nano. AFM memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan mikroskop elektron lain yang hanya menyediakan morfologi dalam dua dimensi atau gambar dua dimensi dari sampel, AFM memberikan profil permukaan tiga dimensi yang baik. Selain itu, sampel yang ditelaah oleh AFM tidak memerlukan perawatan khusus. Jika biasanya mikroskop elektron lain harus diletakkan dalam lingkungan vakum yang mahal, AFM dapat bekerja pada kondisi *ambient*. Salah satu aplikasi yang telah dilaporkan adalah mengenai karakterisasi plastisitas disktrit pada kolagen dalam tendon yang mengalami kelebihan beban (*overload*).

Tendon adalah jaringan penghubung yang mengkonversi kontraksi otot ke kerangka gerak yang digunakan setiap hari. Unsur yang paling mudah bergerak adalah kolagen, merupakan struktur paling dasar untuk urat syaraf berukuran nano [4][5]. Luka yang disebabkan karena

terlalu sering bergerak dari gangguan tendon disebabkan karena struktur hirarki, perubahan jangka panjang dan kehilangan fungsi [6][7]. Struktur dari kolagen yang rusak telah diidentifikasi berasal dari kelebihan muatan tendon. Sekarang jelas, bahwa adanya kerusakan dalam tendon termasuk perubahan konformasi molekul atau pelindung dalam skala nano di dalam urat syaraf kolagen setiap individu [8][9][10][11]. Secara khusus, dua perubahan struktur yang signifikan pada morfologi urat syaraf telah dilaporkan dalam perkumpulan plastik diskret dibawah SEM [8]. Keberlanjutannya, dilakukan analisis dengan AFM.

Untuk melakukan analisis AFM, sampel harus melalui proses *Decellularization*. Proses ini dilakukan untuk memunculkan visualisasi yang jelas dari urat syaraf kolagen perindividu. Skema proses dapat dilihat pada gambar berikut.



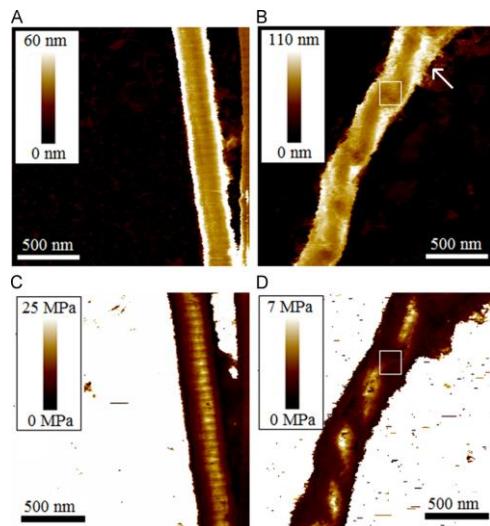
Gambar 1. Proses *Decellularization* [12].

Preparasi sampel untuk uji AFM dilakukan dengan menempatkan sampel hasil *decellularization* pada piring plastik dengan penambahan 1 mL PBS pH 7.4. Sampel dibilas sebanyak 3 kali dengan air deionisasi dan dikeringan dengan gas nitrogen selama 10 menit. Selanjutnya, sampel siap dianalisis dengan AFM. Analisis AFM menggunakan sebuah *Bioscope Catalyst Atomic Force Microscope*.

Akuisisi data dari AFM dilakukan dengan tiga langkah penting, yakni penargetan optik dari dehidrasi fibril kolagen, penggambaran AFM setiap fibril terdehidrasi menggunakan PF-QNM dengan ukuran pixel dari 20 nm, dan penggambaran AFM fibril terdehidrasi menggunakan

PF-QNM dengan ukuran piksel dari 8 nm. Semua analisis data dilakukan dengan menggunakan perangkat SPIP 6.3.3.

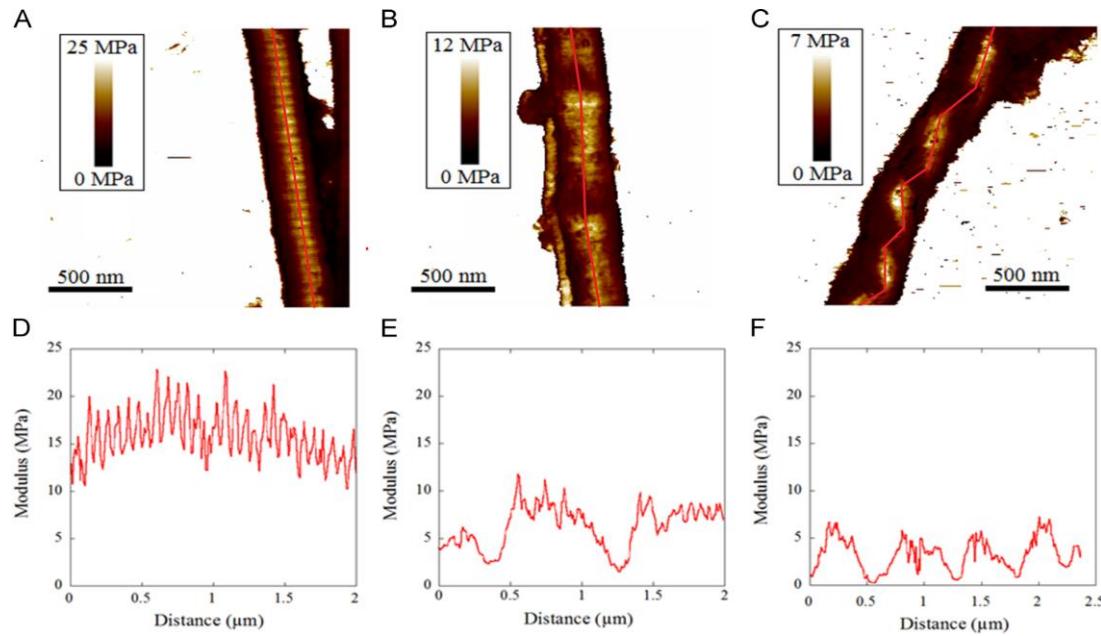
Analisis melalui AFM dapat digunakan mengukur efek dari tendon yang *overload* pada struktur fibril.



Gambar 2. Deformasi dan modulus pada fibril kontrol (A dan C) dan pada teukan fibril (B dan D) [12].

D-banding fibril kontrol diamati di kedua gambar deformasi dan modulus (Gambar 2A dan C). Tekukan fibril, sebaliknya, seringkali tidak menunjukkan *D-banding* baik gambar deformasi atau modulus (Gambar 2B dan D). Selain itu, lapisan kulit yang ditembus membungkus fibril kolagen (Gambar 2B, panah) dan fluktuasi modulus periodik baru yang terjadi pada situs teukan sepanjang fibril kolagen (Gambar 2D). Hubungan terbalik diharapkan antara nilai deformasi dan nilai modulus dari fibril kolagen. Hubungan dirusak pada daerah yang tertekuk dari fibril kolagen yang rusak (Gambar 2B dan D, persegi panjang) di mana penurunan modulus diamati pada wilayah teukan tanpa peningkatan deformasi.

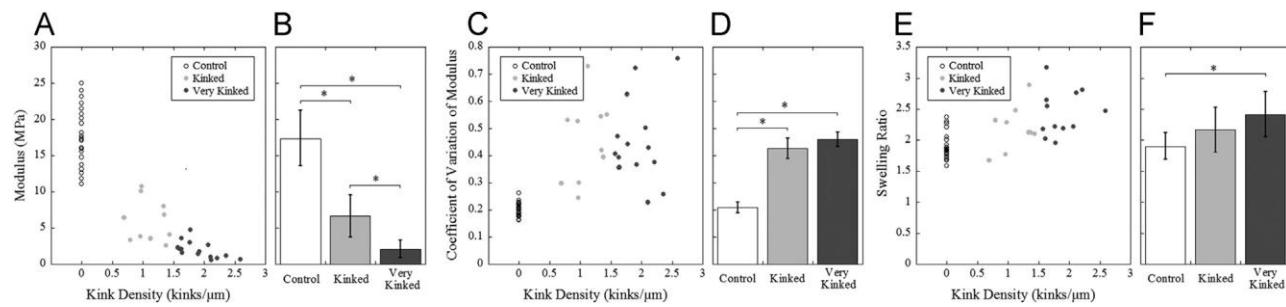
Perbandingan gambar modulus dari fibril kolagen kontrol, tertekuk, dan sangat tertekuk menunjukkan peningkatan dari kerusakan sebagai densitas teukan meningkat seiring fibril kolagen yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. (A) Fibril kalogen kontrol, (B) Fibril kalogen tertekuk, (C) Fibril kalogen sangat tertekuk, (D) *Modulus control*, (E) Modulus tertekuk dan (F) Modulus sangat tertekuk [12].

Tidak adanya hubungan antara sumber tendon dan daerah dari berbagai densitas tekukan telah diamati, menunjukkan tidak ada ketergantungan pada densitas tekukan dan pemuatan skala makro dari tendon. Tidak semua fibril kolagen yang tertekuk ditampilkan lengkap kekurangnya dari D-banding ketika divisualisasikan melalui modulus (Gambar 3B dan E).

Pengumpulan data modulus, koefisien variasi modulus, dan rasio pembengkakan fibril kolagen terhadap densitas tekukan seri mengungkapkan peningkatan rasio pembengkakan dan penurunan modulus dengan meningkatnya densitas tekukan (Gambar 4A, C dan E).



Gambar 4. (A) Grafik data terhadap Densitas data modulus (B) Densitas koefisien variasi modulus (C) Densitas rasio pembengkakan fibril, grafik perbedaan sifat rata rata (D) Fibril kontrol (E) Fibril tekuk (F) Fibril sangat tertekuk [12].

Hal ini konsisten dengan gagasan penurunan modulus adalah karena penurunan densitas molekul. Perbandingan sifat rata-rata dari tiga kelompok fibril menunjukkan perubahan signifikan, perbedaan sistematis antara fibril kolagen kontrol, tertekuk, dan yang sangat tertekuk (Gambar 4B, D dan F). Modulus itu berbeda antara masing-masing dari tiga kelompok, sedangkan rasio pembengkakan meningkat secara signifikan antara fibril kontrol dan yang sangat tertekuk (Gambar 4B dan F.).

Hal ini sangat mencolok bahwa heterogenitas dalam modulus berubah sangat besar dengan kerusakan koefisien variasi untuk modulus pada fibril kontrol lebih dari dua kali lipat pada kedua kelompok tertekuk dan sangat tertekuk, sebagian besar tergantung densitas tekukan (Gambar 4C).

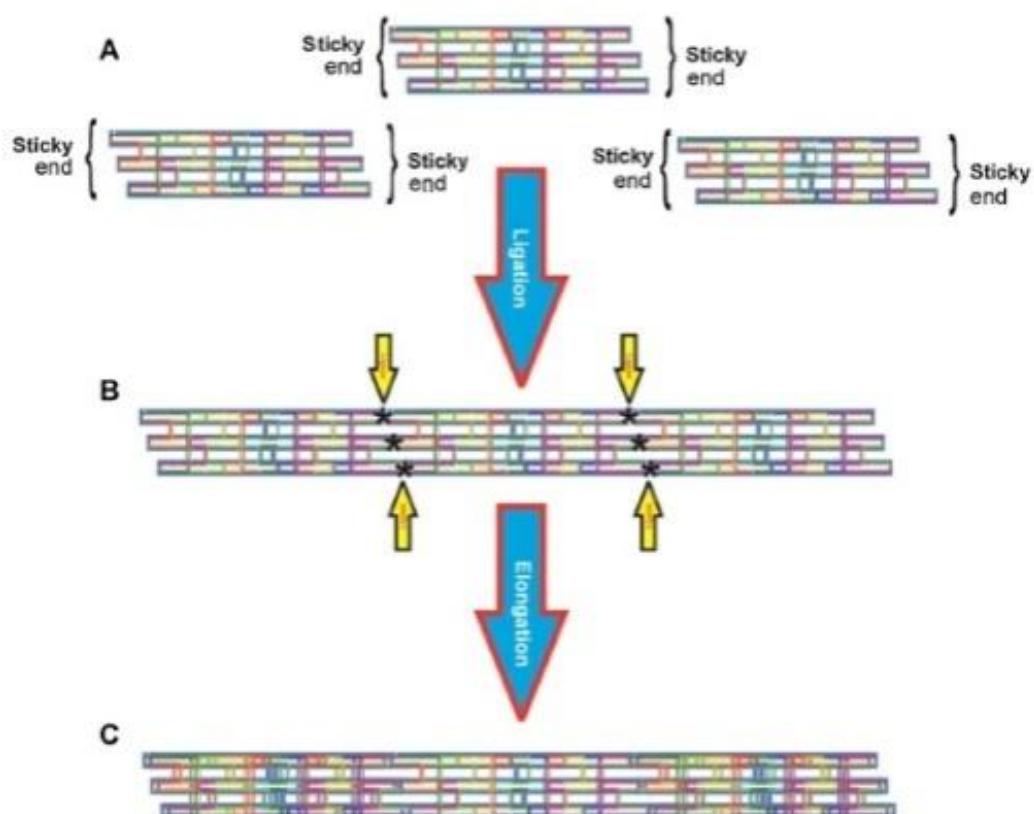
2.2. STM (*Scanning Tunneling Microscope*)

STM adalah jenis mikroskop yang prinsip operasi didasarkan pada fenomena kuantum mekanik yang dikenal sebagai *tunneling*, di mana sifat seperti gelombang membuat seolah olah partikel dapat menerobos ke dalam permukaan padat yang mana sifat ini tidak dapat diaplikasikan dalam aturan fisika klasik. Ujung tajam dari jarum tungsten diposisikan beberapa angstrom dari permukaan sampel. Sebuah tegangan kecil diterapkan antara ujung *probe* dan permukaan sehingga menyebabkan elektron dapat menerobos ke dalam celah dari permukaan. Ketika *probe* mendeteksi permukaan dalam arus *tunneling* kemudian informasi ini yang digunakan sebagai detektor topografi permukaan. Salah satu aplikasi penggunaan STM adalah sebagai karakterisasi DNA nanotube [13].

DNA nanotube merupakan struktur filamen yang terbentuk dari heliks DNA berantai ganda yang memiliki karakterisasi yaitu saluran pusat panjang dan sempit serta dinding samping tersusun atas DNA. Terdapat beberapa metode analisa DNA nanotube telah banyak dikembangkan. Akan tetapi, untuk memperoleh DNA nanotube dengan membutuhkan aspek rasio tinggi [14]. Penelitian sebelumnya berhasil memperkenalkan prosedur sederhana untuk fabrikasi pembuatan DNA nanotube dengan angka minimal staples menggunakan teknik origami dibantu dengan reaksi ligase struktur nano DNA *sticky-ended*, ditunjukan pada gambar 5 [15].

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam karakterisasi nanotube DNA dan metode yang sering digunakan adalah dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang paling terkenal adalah *Transmision Electron Microscope* (TEM), namun TEM tidak bisa menunjukkan topografi permukaan yang lebih detail dari struktur nano DNA. Oleh Karena itu digunakan mikroskop lain yaitu *Scanning Probe Electron* (SPM) salah satunya adalah AFM., namun AFM perlu *probe cantilever* khusus yang mahal dan sangat hati-hati dalam penggunaannya. Selain AFM ada juga *Scanning Probe Microscope* lain yaitu STM (*Scanning Tunneling Microscope*). STM dapat memberikan topografi yang lebih detail dari struktur nano DNA, selain itu STM bisa mengeksplorasi sifat listrik dari struktur nano melalui efek *tunneling* antara sampel dan permukaan molekul dan biaya yang digunakan dalam STM juga lebih murah dari pada AFM. Oleh karena itu, dapat dibandingkan AFM dan STM untuk karakterisasi ultrastuktural nanotube

DNA yang dapat memberikan informasi tentang pembentukan dari struktur nano, dan memberikan data topografi dengan pengukuran yang lebih tepat melalui mikroskop elektron [13]. Berikut ini merupakan perbandingan hasil karakterisasi DNA *nanotube* antara *Scanning Tunneling Microscope* (STM) dengan *Atomic Force Microscope* (AFM) :



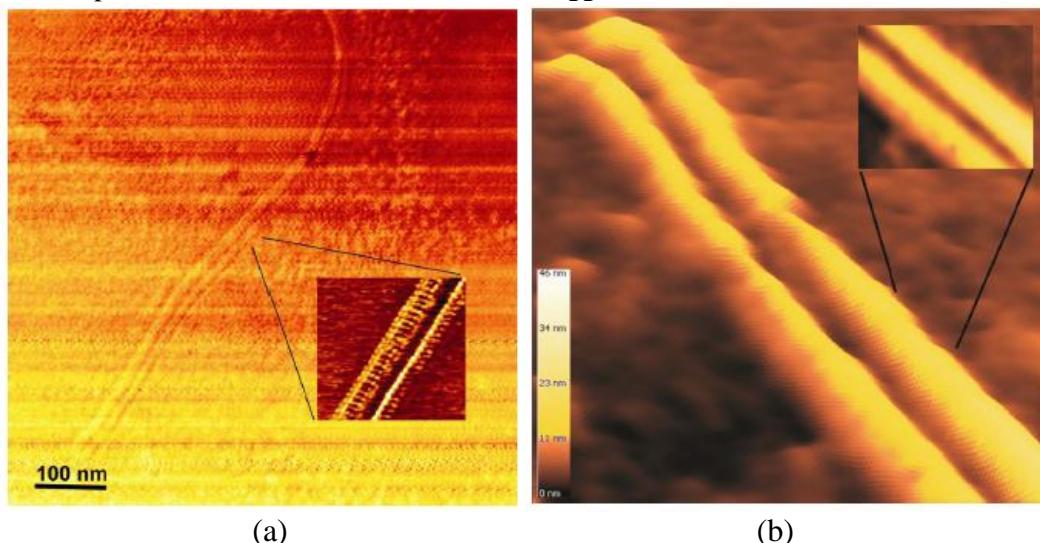
Gambar 5. Skema fabrikasi nanotube DNA melalui integrasi DNA nano-struktur *sticky-ended* dengan reaksi ligase: (A) DNA nano-struktur *sticky-ended*; (B) Perlakuan ligase pada DNA nano-struktur *sticky-ended* (C) Fabrikasi DNA *nanotube* [15].

Tabel 1. Parameter yang mempengaruhi kemampuan AFM dan STM dalam analisa ultrastruktural DNA nanotube [13].

Microscope	Scanning range	Scanning frequency	Scanning mode	Probe	Figuration of micrographs	Scanning phase	Substrate for sampling
AFM	Wide (50 × 50 μm)	Slow	Contact, noncontact, tapping	Silicon cantilever	Two- & three-dimensional	Vacuum, air, liquid	Mica
STM	Limited (8 × 8 μm)	Slow	Constant current, constant height	Pt-Ir tip	Two- & three-dimensional	Vacuum, air	HOPG

AFM – atomic force microscope; HOPG – highly ordered pyrolytic graphite; Pt-Ir – platinum–iridium; STM – scanning tunneling microscope.

Berikut ini merupakan hasil Analisa DNA nanotube menggunakan AFM dan STM :



Gambar 6. Hasil Analisa topografi DNA dengan (a) AFM dan (b) STM [13].

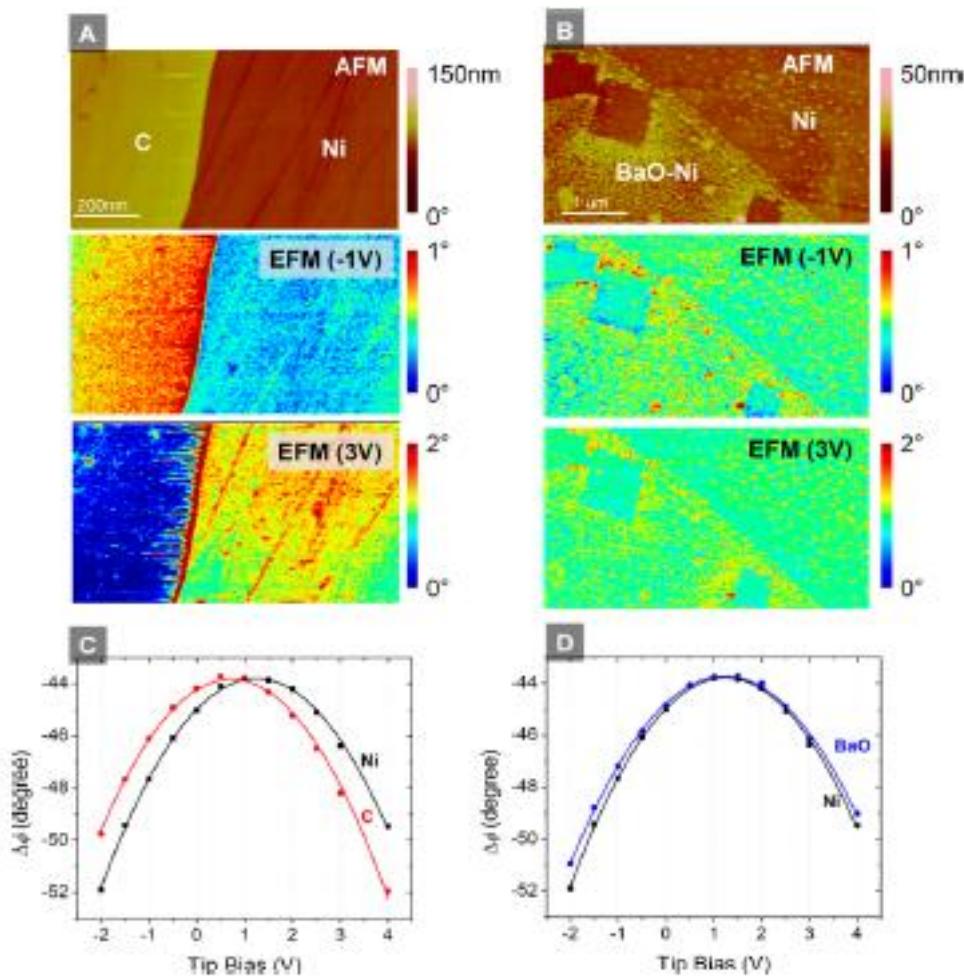
Dari hasil yang didapat, dapat disimpulkan bahwa hasil analisa menggunakan STM lebih baik dari pada menggunakan AFM. AFM hanya dapat menganalisa topografi berkisar pada skala 100 nm sedangkan STM pada skala 20 nm.

2.3. EFM (Electrostatic Force Microscopy)

Electrostatic Force Microscopy (EFM) adalah salah satu teknik *scanning* yang didasarkan pada interaksi elektrostatik antara ujung *probe* *Atomic Force Microscopy* (AFM) dan permukaan fasa pada elektroda. Salah satu aplikasinya untuk deposisi karbon pada anoda Nikel.

Deposisi karbon pada anoda nikel dapat mendegradasi kinerja sel bahan bakar oksida padat yang memanfaatkan bahan bakar hidrokarbon. Anoda nikel dengan BaO yang diendapkan, menunjukkan peningkatan kinerja yang baik dalam menunda deposisi karbon. Tujuannya untuk memvisualisasikan tahap awal deposisi karbon di permukaan nikel dan untuk mengidentifikasi peran BaO nanokluster.

Electrostatic Force Microscopy (EFM) menunjukkan bahwa deposisi karbon di permukaan Ni terbentuk akibat adanya BaO nanokluster. Analisis gambar menunjukkan bahwa setelah paparan propana pada deposisi karbon awal terjadi di permukaan Ni pada jarak tertentu dengan adanya BaO. Paparan selanjutnya, deposit karbon akan menembus ke daerah BaO termodifikasi. Paparan yang terakhir, karbon akan terakumulasi dan bercampur pada BaO.

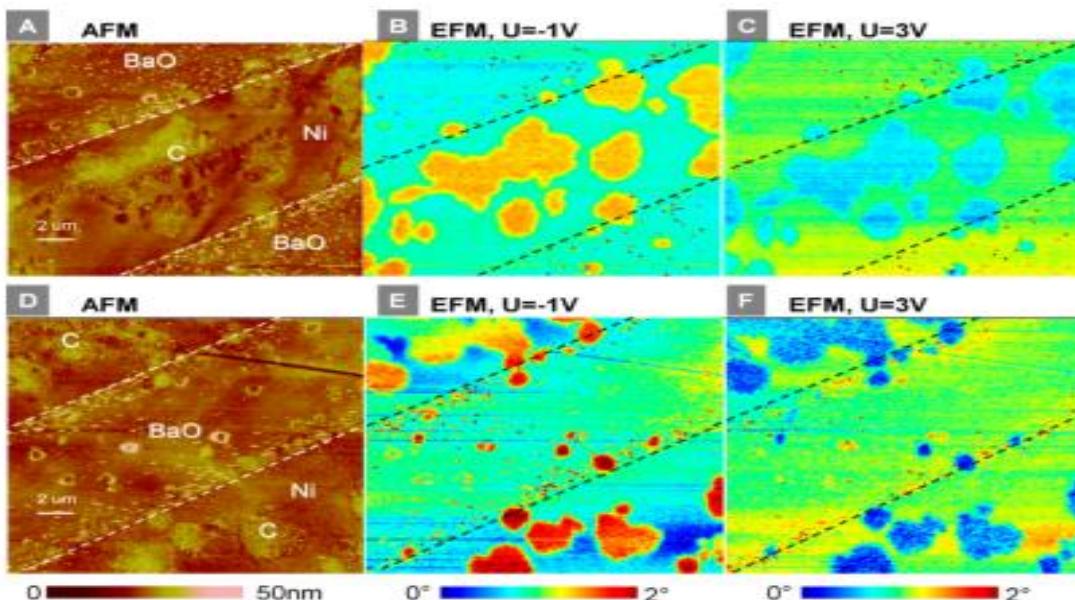


Gambar 7. (A) Analisis EFM pada permukaan C-Ni dan BaO-Ni (B) permukaan C-Ni (C) permukaan BaO-Ni (D) perubahan fase oscilasi wilayah Ni dan BaO yang tertutupi [16].

Gambar 7 merupakan topografi dari C pada Ni dan BaO pada Ni menggunakan EFM untuk membedakan karbon dan BaO dari substrat nikel. Gambar 7A menunjukkan adanya ketebalan film karbon. Ditampilkan kekontrasan yang jelas antara wilayah nikel yang tertutup karbon dan tidak. Perbedaan warna kekontrasan terjadi ketika pembiasan warna diubah,

menunjukkan potensi permukaan yang berbeda pada seluruh permukaan. Gambar 7C menunjukkan potensi pemisahan yang khas pada permukaan [17]. Gambar 7BD wilayah BaO yang tertutup menunjukkan fase yang kurang dari permukaan nikel yang tidak tertutup baik untuk perbedaan biasnya. Maka tidak adanya pemisahan kurva sehingga tidak adanya perbedaan potensial permukaan karena konduktivitas BaO yang kecil, mengakibatkan sedikit kontribusi untuk tanggapan elektrostatik.

Topografi dan gambar EFM dikumpulkan secara bersamaan pada tepi film karbon sebagai model permukaan C-Ni. Topografi menunjukkan jarak 80 nm pada permukaan, menunjukkan ketebalan karbon film.

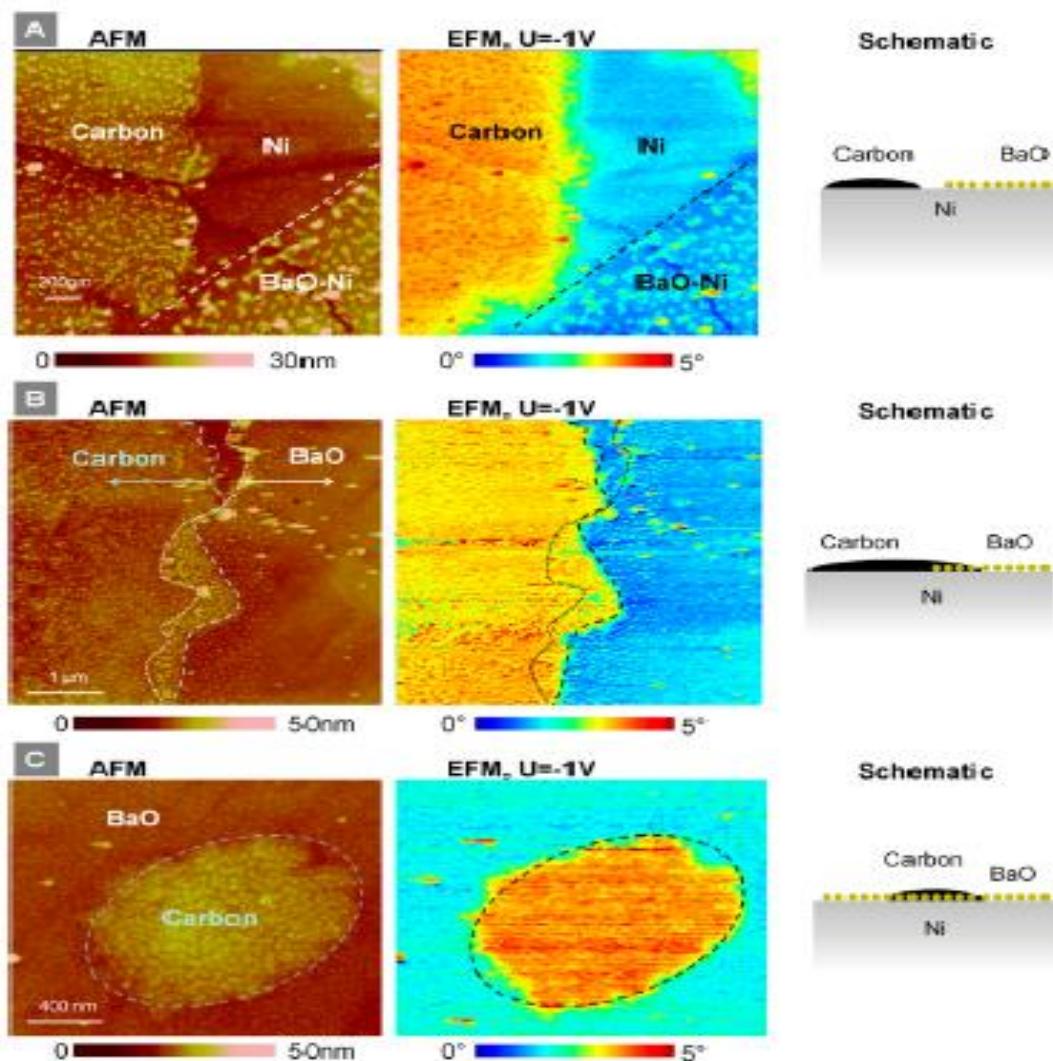


Gambar 8. Analisis EFM menunjukkan: (A,D) resistensi pada bentuk BaO (B,E) bentuk topografi gambar EFM sesuai ujung bias di -1V dan (C,F) gambar EFM pada ujung bias di +3V [16].

Gambar 8A menunjukkan gambar topografi AFM dari Nikel yang terlapisi katalis Ba, dimana memiliki topografi lebih tinggi dibanding hanya permukaan nikel. Gambar 8B,C memiliki ujung bias negatif dan positif dimana hasilnya akan memperkuat model film karbon yang diamati. Gambar 8D,E,F membandingkan gambar EFM dengan gambar topografi AFM pada deposisi karbon.

Gambar 9 merupakan analisis tipografi rinci. Di sebagian lokasi, deposit karbon terlihat adanya jarak dari BaO (Gambar 9A) di daerah dimana *patch* karbon tumbuh lebih besar (Gambar 9B) dan karbon juga terbentuk dalam daerah BaO (Gambar 9C). Morfologi dan distribusi deposisi karbon tahap awal dipelajari dengan gaya elektrostatik mikroskop (EFM), teknik ini mampu mengidentifikasi fasa pada skala nanometer berbasis katalis barium yang dipoles ke

permukaan nikel dan menunjukkan perlawanan terhadap deposisi karbon. Sementara karbon deposisi berkembang dalam bentuk *patch* pada permukaan nikel yang kosong, keberadaan nanopartikel BaO menghambat pertumbuhan deposisi karbon.



Gambar 9. Deposisi karbon pada lokasi yang berbeda berdasarkan modifikasi BaO. (A) pada jarak tertentu dari BaO nanokluster (B) di batas BaO nanokluster (C) di wilayah yang terlindungi BaO nanokluster [16].

3. Kesimpulan

Scanning Probe Microscopy (SPM) merupakan alat yang berguna untuk mengarakterisasi topografi permukaan pada skala ratusan mikrometer hingga nanometer. SPM menggunakan *probe* atau jarum yang disebut *cantilever*. Prinsip kerja SPM yaitu dengan mendeteksi *tunnel current* (arus listrik yang sangat lemah disebabkan lompatan elektron antara sampel dan *cantilever*) atau gaya antar atom (gaya tarik atau tolak), kemudian bersamaan dengan kontrol parameter tersebut agar selalu konstan, permukaan sampel *discan* untuk melihat struktur berskala atom. Jenis SPM sendiri ada bermacam-macam berdasarkan prinsip cara kerjanya. Beberapa contohnya adalah STM (*scanning tunnelling microscopy*), AFM (*atomic force microscopy*), EFM (*electronic force microscopy*).

REFERENSI

- [1] Binnig, G. H., Rohrer, Ch., & Gerber, E., 1982, Surface studies by scanning tunneling microscopy. *Phys. Rev. Lett.* **49**-57.
- [2] Gutmannsbauer, W., Hug, H. J., & Meyer, E., 1996, Scanning probe microscopy for nanometer inspections and industrial applications. *Microelectron. Eng.* **32**, 389-409.
- [3] Schönenberger, C. & Kramer, N., 1996, Nanolithography on hydrogen-terminated silicon by scanning-probe microscopy *Microelectron. Eng.* **32**, 203-217.
- [4] Benjamin, M., Kaiser, E., & Milz, S., 2008, Structure-function relationships in tendons: a review *J. Anat.* **212**, 211-228.
- [5] Kannus, P., 2000, Structure of the tendon connective tissue. *Scand J. Med. Sci. Sports* **10**, 312-320.
- [6] Sharma, P. & Maffulli, N., 2005, Tendon injury and tendinopathy: healing and repair. *J. Bone. Joint. Surg. Am.* **87**, 187-202.
- [7] Spiesz, E. M., Thorpe, C. T., Chaudhry, S., Riley, G. P., Birch, H. L., Clegg, P. D., Screen & H. R., 2015, Tendon extracellular matrix damage, degradation and inflammation in response to in vitro overload exercise. *J. Orthop. Res.* **33**, 889-897.
- [8] Veres, S. P. & Lee, J. M., 2012, Designed to fail: a novel mode of collagen fibril disruption and its relevance to tissue toughness. *Biophys J.* **102**, 2876-2884.
- [9] Veres, S. P., Harrison, J. M., Lee, J. M., 2013, Repeated subrupture overload causes progression of nanoscaled discrete plasticity damage in tendon collagen fibrils. *J. Orthop. Res.* **31**, 731-737.
- [10] Veres, S. P., Harrison, J. M., & Lee, J. M., 2014, Mechanically overloading collagen fibrils uncoils collagen molecules, placing them in a stable, denatured state. *Matrix Biol.* **33**, 54-59.
- [11] Veres, S. P., Brennan-Pierce, E. P., & Lee, J. M., 2015, Macrophage-like U937 cells recognize collagen fibrils with strain-induced discrete plasticity damage, *J Biomed Mater Res A* **103**, 397-408.
- [12] Baldwin, S. J., Kreplak, L., & Lee, J. M., 2016, Characterization via atomic force microscopy of discrete plasticity in collagen fibrils from mechanically overloaded tendons:

Nano-scale structural changes mimic rope failure. *J Mech Behav Biomed Mater.* **60**, 356-366.

- [13] Rafati, A. & Gill, P., 2016, Ultrastructural characterizations of DNA nanotubes using scanning tunneling and atomic force microscopes. *J. Microsc. Ultrastruct.* **4**, 1-5.
- [14] Lo, P. K., Karam, P., Aldaye, F. A., McLaughlin, C. K., Hamblin, G. D., Cosa, G., & Sleiman, H. F., 2010, Loading and selective release of cargo in DNA nanotubes with longitudinal variation. *Nat. Chem.* **2**, 319-328..
- [15] Mousavi-Khattat M., Rafati, A., Gill, P., 2015, Fabrication of DNA nanotubes using origami-based nanostructures with sticky ends. *J. nanostructure chem.* **5**, 177-183.
- [16] Park, H., Li, X., Lai, S. Y., Chen, D., Blinn, K. S., Liu, M., Choi, S., Liu, M., Park, S., & Bottomley, L. A., 2015, Electrostatic force microscopic characterization of early stage carbon deposition on nickel anodes in solid oxide fuel cells. *Nano lett.* **15**, 6047-6050.
- [17] Datta, S. S., Strachan, D. R., Mele, E. J., & Johnson, A. C., 2008, Surface potentials and layer charge distributions in few-layer graphene films. *Nano lett.* **9**, 7-11.

AC Plasmacluster: Bagaimana cara bekerjanya?

(*AC Plasmacluster: How Does It Work?*)

Betty Nurhayati*, Elsanty Nur Afifah, Indah Retnosari, Lia Fatawati, Ucik Refani

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126 Indonesia

*E-mail: bettynurhayati77@gmail.com

Abstrak. AC *Plasmacluster* merupakan inovasi terbaru yang untuk *air conditioner* (AC) yang dilengkapi dengan *plasmacluster*. *Plasmacluster* adalah sebuah perangkat elektronik yang disebut ion generator, yang dapat memproduksi ion secara kontinu dengan cara memecah molekul yang terdapat di udara. Ion *plasmacluster* yang berfungsi mengurangi polutan, bakteri, jamur, asap rokok, dan lain-lain, sehingga membuat udara bersih 99,7% dari zat-zat berbahaya termasuk bakteri yang menempel sekaligus pada baju, properti ruangan, hingga sudut terkecil dalam ruangan.

Kata kunci: *plasmacluster*, *air conditioner* (AC), ion generator, produksi ion

Abstract. AC *plasmacluster* is the latest innovation for air conditioner (AC) that is equipped with a *plasma cluster*. *Plasmacluster* is an electronic device called the ion generator, which can produce ions continuously by breaking the molecules contained in the air. *Plasmacluster* ions serve to reduce pollutants, bacteria, mold, smoke, etc, to make the air 99.9% cleaner 99.7% from harmful substances including bacteria attached on shirts, on room property, or even in the smallest corner of the room.

Keywords: *plasmacluster*, *air conditioner* (AC), ion generator, ion production

1. Pendahuluan

Sejak penghujung dasawarsa 90-an, kebutuhan akan suatu pendekatan baru terhadap metoda sterilisasi yang bekerja pada temperatur rendah dan mumpuni tingkat disinfeksi yang tinggi sangat terasa. Kebutuhan ini sangat terasa pada bidang kesehatan (medis), industri makanan, ventilasi, dan industri *air condition* (AC). Bidang-bidang ini merupakan bidang yang sangat dinamis mencari peningkatan-peningkatan disinfeksi dan teknologi-teknologi sterilisasi. Teknologi yang dicari adalah teknologi yang mampu bekerja dengan baik pada suhu yang rendah dan tidak merusak material-material yang sangat sensitif terhadap pengaruh termik [1].

Aktivitas kehidupan di kota besar baik di perkantoran maupun tempat tinggal dewasa ini bagi sebagian orang tidak dapat lepas dari keberadaan alat pendingin ruangan (AC), terlebih bagi yang bekerja atau tinggal di gedung-gedung yang bertingkat. Pendingin ruangan digunakan untuk membuat temperatur udara di dalam suatu ruangan menjadi nyaman karena kemampuan alat tersebut yang mampu mengubah suhu (temperatur) udara dan kelembaban sesuai yang kita kehendaki. Semakin banyak jumlah orang di dalam ruangan maka semakin besar daya AC yang dibutuhkan karena pada dasarnya manusia yang

mengisi suatu ruangan mengeluarkan kalori yang cukup tinggi, begitu juga dengan besar ruangan. Suhu yang dikeluarkan pendingin ruangan (AC) terkadang terasa cukup, terlalu sejuk, kurang sejuk dan lain sebagainya di kulit manusia [2].

Pada dasarnya prinsip kerja *air conditioner* (AC) sama dengan refrigerasi yaitu suatu usaha untuk mencapai atau memperoleh dan menjaga temperatur lebih rendah dari temperatur atmosfer lingkungan atau sama dengan memindahkan panas dari temperatur rendah ke temperatur tinggi dengan melakukan kerja terhadap sistem, namun *air conditioner* (AC) tidak berfungsi sebagai pendingin saja, tetapi harus dapat menghasilkan udara nyaman. Hal ini dilakukan dengan jalan pengontrolan terhadap kondisi fisika dan kimiawi udara yang meliputi suhu, kelembaban, gerakan udara, tekanan udara, debu, bakteri, bau, gas beracun dan ionisasi [3].

Akhir-akhir ini telah dikembangkan penggunaan plasma pada AC. Teknologi plasma pertama kali dikemukakan oleh Langmunir dan Tonks pada tahun 1928 plasma, mereka mendefinisikan plasma sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik. Secara sederhana plasma didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai fase materi keempat setelah fase padat, cair dan gas [4].

Penggunaan teknologi *plasmacluster* mendukung imbauan pemerintah Indonesia, untuk mengganti bahan pendingin AC dari *hydrochlorofluorocarbon* (R-22) menjadi *difluoromethane* (R-32), yang merupakan senyawa organik yang ramah lingkungan hingga lebih aman bagi ozon. Teknologi *plasmacluster* mampu menjadi jawaban atas kebutuhan manusia akan udara yang berkualitas dimana pengujianefektivitas plasmaclusterterhadap kabut asap [5].

Ion *Plasmacluster* telah terbukti mengurangi sampai 99% aktifitas virus patogenik dan mematikan, virus influenza A, H5N1, menggunakan eksperimen dengan lingkungan yang terkontrol. Teknologi Ion *Plasmacluster* juga telah mendapatkan 13 verifikasi dari badan penelitian di Jepang dan negara lain. Virus H1N1 adalah salah satu subtipen dari spesies influenza A. H1N1 adalah galur virus influenza yang mempunyai tingkat patogenik rendah dan menyebabkan sebagian besar influenza pada manusia. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa Ion *Plasmacluster* berpotensi untuk digunakan dalam pengembangan sistem yang bertujuan mengurangi jumlah virus influenza infeksi dalam ruangan tertutup. Oleh karena itu penulis membahas teknologi *plasmacluster air conditioner* (AC).

2. Pembahasan

2.1 Metode Sterilisasi

Menurut Young dan Montie, kebutuhan akan suatu pendekatan baru terhadap metoda sterilisasi yang bekerja pada temperatur rendah dan mumpuni tingkat disinfeksi yang tinggi sangat terasakan.

Terdapat beberapa teknik dalam stresilisasi menggunakan plasma:

2.1.1 Teknik Dekontaminasi

Teknik dekontaminasi dengan menggunakan radiasi dan sejumlah unsur anti jasad renik. Radiasi dan unsur anti jasad renik tersebut berfungsi untuk merusak DNA. Teknik ini meliputi radiasi pengion (sinar Gamma), sinar ultra ungu dan zat-zat kimia reaktif DNA. Kerusakan DNA yang ditimbulkan karena penyinaran atau secara kimiawi, mematikan sel terutama karena mengganggu replikasi DNA. Akan tetapi, teknik sterilisasi tersebut memiliki beberapa kelemahan antara lain; terjadi denaturasi protein, mempengaruhi cita rasa makanan dan bentuk-bentuk spora bakteri (*gram positive bacteria*) masih ada. Selain itu radiasi Gamma yang menggunakan zat radioaktif, tidak dapat digunakan secara meluas karena diperlukan prosedure standar yang agak rumit dalam hal keamanannya. Desinfeksi kimia hanya berhasil dalam batas-batas kelembaban yang relatif sempit [6].

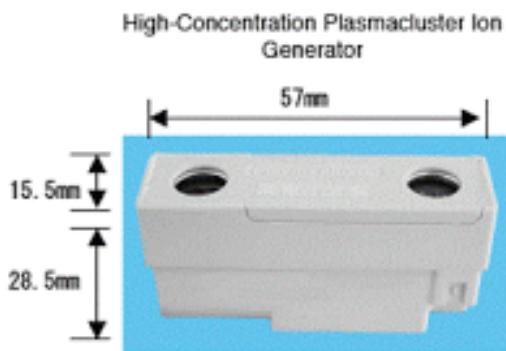
2.1.2 Teknik Arus DC dan AC

Teknik lain yang dikenal adalah dengan menggunakan arus listrik d.c. dan a.c., namun dalam prosessterilisasi sel yang terbunuh oleh pulsa medan listrik tidak hancur, dan spora bakteri, lumut relatif tidak sensitif untuk pulsa tegangan tinggi [7].

Dalam metode menggunakan tegangan listrik ini biasanya digunakan dalam lucutan korona. Korona merupakan proses pembangkitan arus di dalam fluida netral iantara dua elektroda bertegangan tinggi dengan mengionisasi fluida tersebut sehingga membentuk plasma di sekitar salah satu elektroda dan menggunakan ion yang dihasilkan dalam proses tersebut sebagai pembawa muatan menuju elektroda lainnya. Proses terjadinya lucutan pijar korona dalam medan listrik diawali dengan lucutan townsend kemudian diikuti oleh lucutan pijar (*glow discharge*) atau korona (*corona discharge*) dan berakhir dengan lucutan *arc*. Lucutan korona dibangkitkan menggunakan pasangan elektroda tak simetris yang akanmembangkitkan lucutan di dalam daerah dengan medan listrik tinggi di sekitar elektroda yang memiliki bentuk eometri lebih runcing dibanding elektroda lainnya. Elektroda dimana disekitarnya terjadi proses ionisasi disebut elektroda aktif.

2.2 Plasma Sterilisasi

Salah satu contoh dari pemanfaatan plasma sterilisasi adalah AC *Plasmacluster*. AC *plasmacluster* merupakan inovasi terbaru yang untuk *air conditioner* yang dilengkapi dengan *plasmacluster*. *Plasmacluster* adalah sebuah perangkat elektronik yang disebut ***Ion Generator***, yang dapat memproduksi ion secara *continue* dengan cara memecah molekul yang terdapat di udara. Ion *plasmacluster* yang berfungsi mengurangi polutan,bakteri,jamur, asap rokok,dan lain-lain. Sehingga membuat udara bersih 99,7% dari zat-zat berbahaya termasuk bakteri yang menempel sekaligus padabaju, properti ruangan, hingga sudut terkecil dalam ruangan.



Gambar 1. Ion Generator Pada AC Plasmacluster [8].

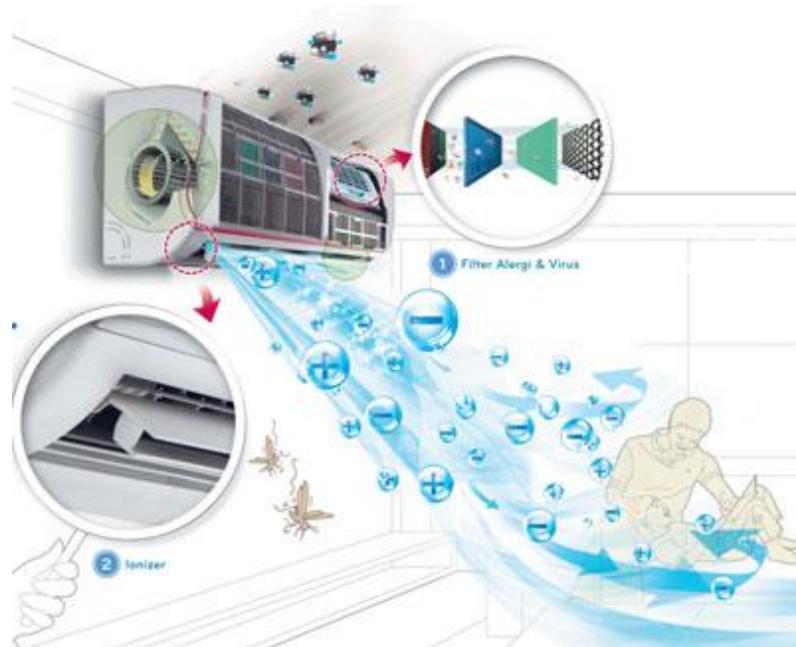
Semburan *plasmacluster* akan menghasilkan dan memancarkan ion positif dan negatif yang sama seperti yang ada di alam. Teknologi *plasmacluster* adalah teknologi disinfeksi udara asli Sharp untuk menekan pertumbuhan efek-efek virus di udara, dan menghancurkan serta membersihkan jamur dalam udara.

Ion Plasmacluster bekerja dengan cara :

- a. Emisi Ion yaitu menyemburkan ion positif dan negatif ke udara sehingga membuat Ion yang dilepaskan sama seperti yang ada di alam.
- b. Ion akan bekerja jika hanya menyentuh bakteri, spora jamur, Lalu Ion O₂ dan H⁺ Mengoksidasi virus dan bakteri yang ada dalam ruangan dengan tingkat pengoksidasi yang sangat kuat.
- c. Kandungan ion radikal OH akan mengambil hidrogen (H) dari protein yang berada pada permukaan virus dan bakteri.
- d. Bergabungnya ion radikal OH dan Hidrogen (H) pada virus dan bakteri berubah menjadi (H₂O) air, sehingga menambah kelembapan pada ruang tersebut.

Plasmacluster mengaplikasikan semburan plasma pada kelengasan (kandungan air) dan oksigen di dalam udara akan menghasilkan sangat banyak ion positif dan negatif. Lapisan molekul air yang terbentuk di sekeliling masing-masing ion akan memastikan bahwa ion bertahan lama pada suatu ruangan.

Suara yang dihasilkan oleh *plasmacluster* berasal dari sengatan tegangan listrik tinggi untuk menghasilkan emisi ion yang setara di alam untuk menghadirkan higiene *preventive* untuk menunjang kehidupan yang sehat. Namun semua itu membutuhkan keseimbangan antara makhluk hidup dengan suatu alat dengan membersihkan selalu ruang tersebut untuk menunjang kebersihan udara yang maksimal.



Gambar 2. Bagian-bagian dari AC *Plasmacluster* [8].

Bagian dari AC *Plasmacluster*:

- a. Aksi Ganda

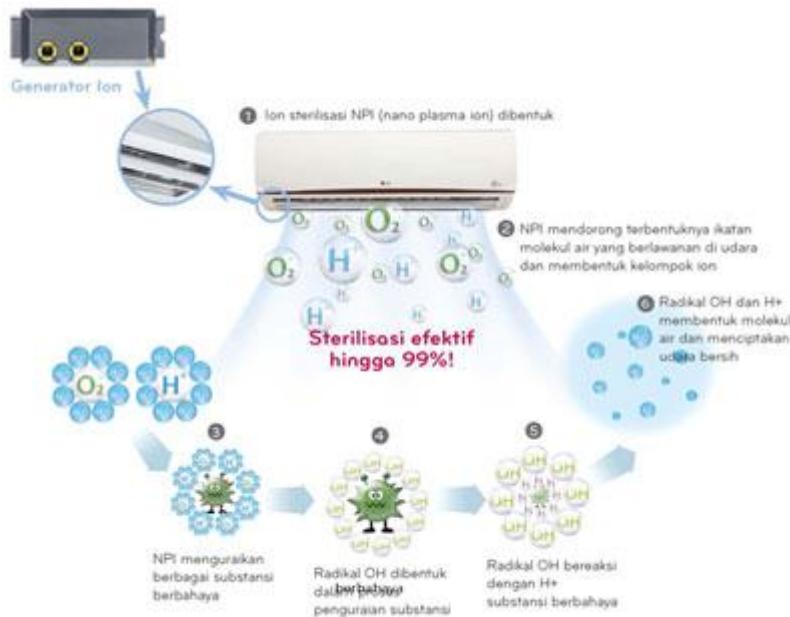
Teknologi terdepan dari LG akan mensterilkan secara ganda berbagai bakteri, jamur, dan penyebab alergi di setiap sudut rumah dan menghilangkan (membunuh) virus hingga 99,9%.

- b. *Ionizer (Generator Ion)*

Air Conditioner LG menggunakan ion-ion untuk menghilangkan substansi berbahaya. *Ionizer*, sebuah generator ion, dipasang di outlet udara unit dalam ruangan. Perangkat ini akan memancarkan ion oksigen dan hidrogen aktif yang tidak berbahaya, dan menangkap substansi berbahaya yang ada di udara seperti jamur, kuman dan penyebab alergi. Dengan sistem Anti-Virus dari LG, udara bersih akan di sirkulasikan ke setiap sudut rumah.

c. Auto Clean

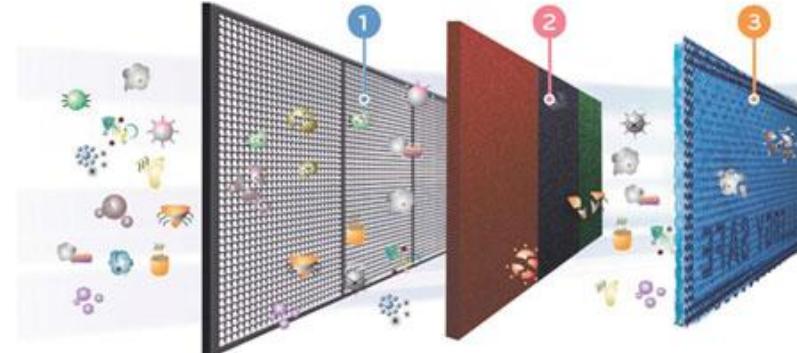
Fungsi *Auto Clean* mengaktifkan kipas internal selama 30 menit setelah pengoperasian untuk mengeringkan evaporator. Hal ini akan mencegah perkembang-biakan jamur dan bakteri, serta menghilangkan bau yang mengganggu. Dengan fungsi *Auto Clean*, Anda tidak perlu lagi mengeringkan evaporator secara manual dan *air conditioner* tidak perlu sering dibersihkan.



Gambar 3. Mekanisme kerja AC *Plasmacluster* [9].

Mekanisme Kerja AC Plasmacluster :

- a. Ion sterilsasi NPI (*nano plasma ion*) dibentuk.
- b. NPI mendorong terbentuknya ikatan molekul air yang berlawanan di udara dan membentuk kelompok ion.
- c. NPI menguraikan berbagai substansi berbahaya.
- d. Radikal OH dibentuk dalam proses penguraian substansi berbahaya.
- e. Radikal OH bereaksi dengan H⁺ substansi berbahaya.
- f. Radikal OH dan H⁺ membentuk molekul air dan menciptakan udara bersih.



Gambar 4. Filter dalam AC Plasmacluster, (1) pre-filter, (2) triple filter, (3) filter antivirus [9].

Penjelasan gambar :

a. Pre-filter yang mudah dicuci

Mudah dibuka: *Ez-Detachable Grille* Tutup bawah hingga atas yang sederhana membuat *air conditioner* anda lebih mudah dibersihkan.: *Ez-Cleaning Grille*. Filter harus tetap bersih sepanjang waktu untuk menjamin pengoperasian optimal. LG *Ez-Cleaning Filter* dirancang untuk memudahkan perawatan dan pembersihan. Mudah dibersihkan: Filter yang dapat dicuci permbersihan mudah dan nyaman.

b. Triple Filter

Triple Filter terdiri dari 3 filter gabungan organik berbeda yang berfungsi untuk menghilangkan rasa tidak nyaman dan nyeri pada mata dan tenggorokan.

- 1) Filter VOC menghilangkan bau dan VOC berbahaya yang berasal dari perabot rumah tangga terbuat dari bahan kimia (karpet, cat, pembersih, furniture, dan sebagainya) (VOC = *Volatile Organic Chemical* atau Bahan Kimia Organik Berbahaya).
- 2) Filter formaldehida menghilangkan formaldehida, penyebab utama sindrom rumah baru, dan mencegah infeksi kulit, mual dan radang paru-paru.
- 3) Filter bau biasa yang berfungsi menghilangkan bau yang mengakibatkan migrain dan kelelahan kronis.

c. Filter Anti-Virus

Filter dengan efek sterilisasi terhadap Influenza Baru (A) H1N1 telah disterilisasikan oleh Kitasato. Cara membasmi virus flu baru (A) H1N1

- 1) Penguraian membran virus perkembang-biakan virus ditekan: Sterilisasi Virus.
- 2) Menonaktifkan *neuraminidase* sama seperti Tami Flu, TVF dari LG mencegah perkembangan *neuraminidase*, yang akan aktif ketika virus keluar dari sel inang untuk berkembang biak.
- 3) Pencegahan sintesis hemagglutinin dengan protein dengan menyilangkan protein dengan *Glutaraldehyde*, TVF LG memperbaiki Hemagglutini untuk mencegah berkembang-biaknya virus.

d. Filter Alergi

Berbagai penyebab alergi, seperti kutu, debu, dan bulu binatang, tersebar di udara. Filter Alergi dari LG bersertifikasi BAF menguraikan protein allergen dan menyediakan udara bersih. Enzim yang terpasang pada filter melalui pengikat organik dan anorganik menguraikan protein penyebab alergi untuk membasmi penyebab alergi.

e. Filter NCB

Filter karbon berukuran nano menghilangkan partikel bau yang halus yang terdapat di dalam rumah dan menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan menyenangkan. Filter ini dikembangkan oleh LG *Electronics* sebagai bagian dari promosi pelindung kesehatan dan peralatan rumah tangga, dan *air conditioner* merupakan produk pertama di dunia yang menggunakan teknologi ini. Teknologi tinggi ini akan mengontrol ukuran, bentuk dan distribusi ventilasi untuk efek penghilangan bau.

f. Plasma Filter

Plasma Air Purifying System yang dikembangkan oleh LG tidak hanya menghilangkan kontaminan dan debu mikroskopis, tetapi juga menghilangkan kutu rumah, serbuk sari, dan bulu binatang untuk mencegah penyakit [10].

Manfaat dari AC Plasmacluster :

- a. Menstrerelasi ruangan.
- b. Membunuh bakteri, virus, dan jamur tanpa mengganggu pernafasan saat menghirupnya.
- c. Menjadikan udara segar dan bebas bau.
- d. Dengan sensor penjernih udara, dapat diketahui kualitas udara dalam ruangan.
- e. Mengembalikan kelembaban udara sehingga nyaman untuk pernafasan dan kulit.

3. Kesimpulan

Plasma didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai fase materi keempat setelah fase padat, cair dan gas. Penggunaan teknologi *plasmacluster*, untuk mengganti bahan pendingin AC dari *hydrochlorofluorocarbon* (R-22) menjadi *difluoromethane* (R-32), yang merupakan senyawa organik yang ramah lingkungan hingga lebih aman bagi ozon. *Plasmacluster* adalah sebuah perangkat elektronik yang disebut ion generator, yang dapat memproduksi ion secara *continue* dengan cara memecah molekul yang terdapat di udara. ion plasma cluster yang berfungsi mengurangi polutan, bakteri, jamur, asaprokok, dan lain-lain.

Referensi

- [1] Nur, M., Rukhmi, M.G. I., & Komariyah, 2005, Metoda Baru Untuk Dekontaminasi Bakteri Dengan Plasma Non Termik Pada Tekanan Atmosfer. *Berkala Fisika* **3**, 91-98.
- [2] Diah, K., & Noviardi, Z., 2010 Penerapan Inferensi Fuzzy untuk Kendali Suhu Ruangan Pada Pendingin Ruangan (AC). *Seminar nasional Informatika*. ISSN: 1979-2328, 22-27.
- [3] Negara, K. M. T. W., Suarnadwipa, H., Sucipta, N. M., 2010, Analisa Performansi Sistem Pendingin Ruangan dan Efisiensi Energi Listrik padaSistem Water Chiller dengan Penerapan Metode Cooled Energy Storage. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* **1**, 43-50.
- [4] Khamdi, A., & Aminah, S., 2012, Peranan Plasma Lucutan Pijar Korona terhadap Penurunan total Bakteri Susu Segar. *Jurnal Pangan dan Gizi* **5**, 11-20.

- [5] Agustini, N. K. A. & Kusuma, A. A., 2016, Pengaruh Pengetahuan Lingkungan Terhadap Niat Beli Pendingin Ruangan Plasmacluster dengan Sikap pada Lingkungan Sebagai Pemediasi. *E-jurnal Manajemen Unud.* **3**, 1831-1861.
- [6] Jawetz, E., Melnick, J., & Adelberg, G. A., 1996, diterjemahkan oleh H. Tonang *Mikrobiologi untuk Profesi Kesehatan* Edisi 16, EGC Penerbit Buku Kedokteran.
- [7] Brimmingham, J. G. & Hammerstrom D. J., 2000, Bacterial Decontamination Using Ambient Pressure Nonthermal Discharge, *IEEE Transaction on Plasma Science* **28B**.
- [8] Istiqomah, 2012, Ion Plasmacluster Menjernihkan Udaraku, Menyehatkan Pernafasanku. <http://www.kompasiana.com>. Diakses pada tanggal 29 Oktober.
- [9] Arif, N., 2015, Sharp Plasmacluster Menjadikan Sehat Dan Cantik .<http://www.nunungarif.com>. Diakses pada tanggal 21 Oktober 2015.
- [10] Valin, V., Viktorija, G., & Andrius, T., 2012, *Report On The Different Plasma Modules for Pollution Removal*, Lithuania, Lithuanian Energy Institute.

Mengenal TV Plasma

(Introduction to Plasma TV)

**Alfianita Utama P*, Nana Rismana, Ajeng Aullia Martina, Diah Ayu Rivani, Faradilla Prabasiwi
Ainurrohma, Inayatun Farichah**

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126 Indonesia*

*E-mail: alfianautama@student.uns.ac.id

Abstrak. Gambar display layar plasma berasal dari sinyal video yang sebenarnya mirip seperti televisi pada umumnya, tetapi layar ini menampilkan gambar dalam bentuk plasma yaitu fase materi yang ke empat. Setiap *pixel* terdiri dari tiga *subpixel* dalam layar plasma. Sinar ultraviolet diperlukan untuk menyalaikan produksi *subpixel*. Impuls listrik yang tinggi mengenai gas di setiap *subpixel* dan membuat gas tereksitasi menjadi plasma kemudian kembali ke keadaan awal gas disertai melepaskan energi surplus dalam bentuk sinar ultraviolet. Sinar yang mengeksitasi *subpixel* tersebut, menimbulkan cahaya yang berkombinasi dengan cahaya yang diberikan oleh dua *subpixel* yang lain dan secara bersama-sama ketiga *subpixel* tersebut menyalaikan pixel. Dari keseluruhan, gambar dapat muncul dari *pixel* demi *pixel*, *subpixel* demi *subpixel* pada layar, yaitu layar plasma.

Kata kunci: *pixel, subpixel, televisi, plasma, layar plasma*

Abstract: *Plasma screen display pictures derives from the video signal, which is quite similar to that generally found in television, yet the former displays pictures in plasma form, the fourth matter phase. Each pixel contains three subpixels in the plasma screen. The ultraviolet rays are required to light these subpixels produced. High electrical impulses hit the gases in each subpixel and make the gases highly energized to become plasma. They then later come back to their original gas state while releasing their surplus energy in the form of ultraviolet rays. The rays that excite the sub-pixel produce light that combines with the light given off by two other subpixels and together they light up the pixel. From the overall operation, pictures can appear pixel by pixel, subpixel by subpixel on the screen, displayed in the plasma screen.*

Keywords: *pixel, subpixel, television, plasma, plasma screen*

1. Pendahuluan

Konsep tentang plasma pertama kali dikemukakan oleh Langmuir dan Tonks pada tahun 1928. Mereka mendefinisikan plasma sebagai gas yang terionisasi dalam luctutan listrik [1]. Jadi plasma dapat juga didefinisikan sebagai percampuran kuasinetral dari elektron, radikal, ion positif dan negatif [2]. Percampuran antara ion-ion yang bermuatan positif dengan elektron-elektron yang bermuatan negatif memiliki sifat-sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya dan materi pada fase ini disebut fase

plasma. Maka secara sederhana plasma didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan fase gas [3].

Plasma merupakan daerah reaksi tumbukan elektron yang sangat signifikan untuk terjadi. Plasma dapat terjadi ketika temperatur atau energi suatu gas dinaikkan sehingga memungkinkan atom-atom gas terionisasi akan membuat gas tersebut melepaskan elektron-elektronnya yang pada keadaan normal mengelilingi inti [4].

Plasma memiliki banyak aplikasi dalam teknologi. Salah satu penerapan plasma dalam industri adalah TV plasma. TV plasma adalah sebuah tampilan layar datar emisif di mana Cahaya dihasilkan oleh phosphor yang tereksitasi oleh sebuah pelepasan muatan plasma antara dua layar datar gelas. Gas yang dilepas muatannya tidak mengandung merkuri (berlawanan dengan AMLCD); sebuah campuran gas mulia (neon dan xenon) digunakan. Campuran gas ini sulit bereaksi dan sama sekali tidak berbahaya. Seiring dengan permintaan konsumen terhadap TV *flat* (LCD) dan juga panel surya menyebabkan kebutuhan ITO bertambah, padahal unsur Indium (In) merupakan unsur tanah sangat sedikit ketersediaannya di bumi. Harga Indium yang mahal menjadi permasalahan dalam pengembangan TCO yang murah [5].

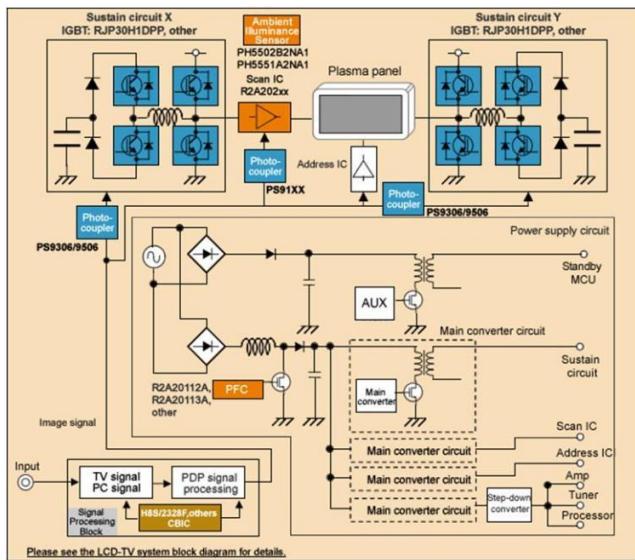
Oksida konduktif transparan atau *transparent conductive oxide* (TCO) adalah semikonduktor yang memiliki lebar celah pita energi antara 2,5-4,5 eV. Karakteristik yang menonjol dari material oksida konduktif transparan adalah resistivitas listrik yang rendah dan transparansi yang tinggi pada panjang gelombang visibel. Aplikasi oksida konduktif transparan telah berkembang sangat cepat. Material ini telah digunakan untuk pembuatan piranti optoelektronik seperti: TV LCD, TV Plasma, *organic electroluminescence* (EL) seperti *touchscreen* monitor pada *authomatic tellermachine* (ATM), *ticket vending machines* yang dipasang di stasiun kereta api, sistem navigasi mobil, *handheld game, consoles*, dan *mobile phones*. Selain itu juga diaplikasikan untuk elektroda pada solar sel [6].

2. Pembahasan

2.1. Definisi Televisi Plasma

Televisi plasma adalah adalah sebuah layar datar emisif dimana plasma dihasilkan oleh fosfor yang tereksitasi oleh sebuah pelepasan muatan gas antara dua layar datar. Gas yang dilepaskan tidak melepaskan merkuri. Monitor plasma atau dikenal juga dengan *Panel Display Plasma* (*PDP*) memanfaatkan tegangan eksternal untuk menyebabkan pelepasan gas di dalam panel untuk menghasilkan sinar ultraviolet yang akan memperoses warna-warna merah, hijau, dan biru. Kualitas gambar yang dihasilkan oleh televisi plasma sangat maksimal [7].

2.2. Bagian – Bagian Televisi Plasma



Gambar 1. Bagian – bagian TV Plasma [7].

Keterangan:

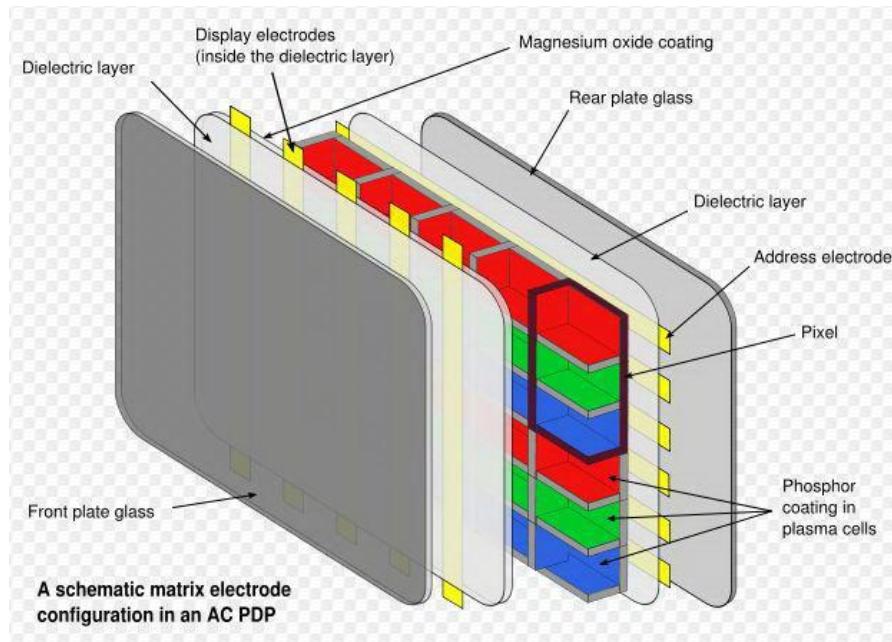
- Blok Y – SUS
Blok Y – SUS ini tersambung langsung ke layar Plasma.
- Blok Z – SUS
Blok Z – SUS ini terhubung juga oleh kabel *Flexibel* ke layar Plasma yang terdiri dari 3 buah soket konektor.
- Blok Rangkaian *Power Supply*
Rangkaian blok *power supply* ini terdiri dari tiga soket konektor, rangkaian ini berfungsi sebagai penyuplai daya ke semua rangkaian yang ada di TV plasma.
- Blok Mixer*
- AC Cord dan Noise Filter*
AC cord ini berfungsi sebagai penyulur sumber tegangan ac jala-jala dan berfungsi juga sebagai penyaring gangguan.
- Blok Processor (MICOM) and Tuner*
- Rangkaian X-LEFT B/D and X-RIGHT B/D. Blok rangkaian ini berfungsi sebagai pengatur gambar secara horizontal.
- Panel Kontrol
Panel kontrol ini terdiri dari switch push on mini yang berfungsi sebagai pengatur atau pengontrol pengoperasian TV Plasma keseluruhan.

2.3 Cara Kerja Televisi Plasma

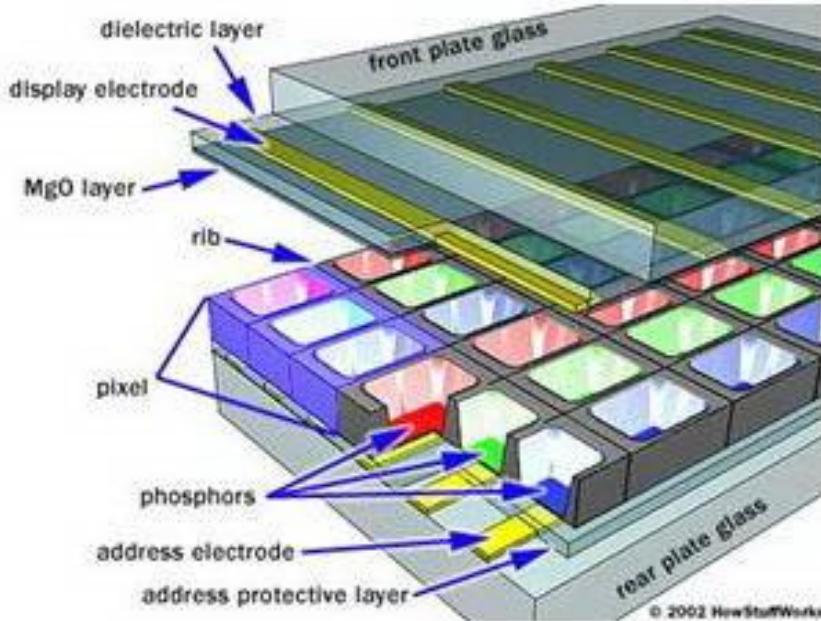
Cara kerja monitor Plasma dengan menggunakan cahaya yang dipancarkan dari pelepasan Plasma. Plasma dihasilkan dari gas yang terionisasi sehingga menghasilkan ion dan elektron. Ketika tabung *fluorescent* tersebut diberi muatan, partikel yang bermuatan negatif akan menuju ke area plasma yang memiliki muatan positif dan partikel yang bermuatan positif akan menuju ke area plasma yang memiliki muatan negatif. Partikel-partikel ini akan saling bertumbukan, yang menyebabkan atom gas neon dan xeon yang berada di antara dua panel gelas terionisasi, sehingga terjadi pelepasan foton yang berupa cahaya ultraviolet [7].

Pada bagian dalam plasma, gas xenon dan neon ditempatkan dalam banyak sel yang diletakkan di antara dua plat kaca. Pada plat kaca tersebut, juga disisipkan elektroda panjang pada ke dua sisi sel. Elektroda transparan melingkupi bahan dielektrik dan ditutup oleh satu lapisan pelindung magnesium oksida. Elektroda meluas keseluruh layar, dimana elektroda display disusun secara horisontal membentuk barisan sepanjang layar elektroda yang dituju (elektroda untuk pengalamatan titik) disusun membentuk kolom vertikal [7].

Grid yang terbentuk pada televisi plasma berguna untuk mengionisasikan gas yang berada dalam sel tertentu, display plasma akan mengaktifkan elektroda vertikal dan elektroda horisontal yang saling bertemu/berpotongan. Hal ini dilakukan beribu-ribu kali dalam waktu yang sangat singkat, untuk mengaktifkan tiap selnya. Jika elektroda yang berpotongan ini diaktifkan (dengan menggunakan beda tegangan antara kedua elektroda) maka arus listrik akan mengalir melalui gas yang ada di dalam sel tersebut. Pada saat yang bersamaan, sebuah aliran juga terbentuk oleh pengisian partikel yang akan memicu atom-atom gas untuk melepaskan foton ultraviolet. Foton yang dilepaskan ini berinteraksi dengan material fosfor yang dilapisi di dalam dinding sel. Fosfor adalah material yang akan menghasilkan cahaya (berpendar) jika terkena tumbukan. Ketika foton ultraviolet mengenai atom di dalam sel, sebuah elektron fosfor akan melompat ke tingkat energi yang lebih tinggi dan atom memanas. Pada waktu elektron kembali ke keadaan dasar, maka akan dihasilkan energi dalam bentuk foton yang berupa cahaya tampak [7].



Gambar 2. Bagian dalam layar plasma [7].



Gambar 3. Grid pada televisi plasma [7].

Suatu piksel dalam layar plasma terdiri dari tiga sub piksel yang memiliki warna fosfor berbeda. Yaitu fosfor dengan cahaya merah, fosfor dengan cahaya hijau, dan fosfor dengan cahaya biru. Warna – warna ini menyatu untuk membentuk keseluruhan warna dalam piksel. Dengan memvariasi pulsa yang mengalir ke dalam sel, dapat memberikan kontrol, yaitu menambah intensitas atau mengurangi intensitas dari warna setiap sub piksel untuk membentuk banyak kombinasi warna [7].

3. Kesimpulan

Televisi plasma adalah sebuah layar datar emisif dimana plasma dihasilkan oleh fosfor yang tereksitasi oleh pelepasan muatan gas antara dua layar datar. Di antara dua layar datar terdapat piksel yang terdiri dari tiga sub *pixel* yang menghasilkan warna merah, hijau, dan biru, warna – warna ini menyatu untuk membentuk keseluruhan warna. Sehingga, gambar dapat ditampilkan oleh *pixel* ke *pixel*, *subpixel* ke *subpixel* di layar televisi plasma.

Referensi

- [1] Tarenbaum, S. B., 1967, *Plasma Physics*, McGraw-Hill.
- [2] Tseng, C. H., 1999, *The Application Of Pulsed Corona Discharge Technology In Flue Gas Desulfurization And Denitrification* The Air & Waste Management association's 92nd Annual Meeting & Exhibition St. LouisMissouri USA.
- [3] Nur, M., 2011, *Fisika Plasma dan Aplikasinya*, Semarang, UNDIP Press.
- [4] Chen, J. & Jane, H. D., 2002, Electron Density and Energy Distributions in the Positive DC Corona: Interpretation for Corona-Enhanced Chemical Reactions. *Plasma Chem. Plasma Process.* **22**, 199-224.
- [5] Tsay, C., Hua-Chie, C., Yen-Ting, T., Wei-Hsing, T., Chung-Kwei, L., 2008, Effect of Sn-doped on Microstructural and Optical Properties of ZnO Thin Films Deposited by Sol Gel Method. *Thin Solid Films* **517**, 1032-1036.
- [6] Song, D., 2005, *Zinc Oxide TCOs (Transparent Conductive Oxides) And Polycrystalline Silicon Thin-Films For Photovoltaic Applications*. Thesis University of New South Wales.
- [7] Harris, T., 2002, How Plasma Displays Work. *How Stuff Works*.

Plasma Pembersih pada Logam (*Plasma Cleaning on Metals*)

Anis Robi Astuti*, Arum Anindyan Kusumaningtyas, Oktaviani Nur Aniza, Rizqi Akbar Tedra,
Tika Diah Utami, Teguh Endah Saraswati

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingen, Surakarta 57126 Indonesia

*E-mail: anisrobiastuti@gmail.com

Abstrak. *Plasma cleaning* merupakan proses menghapus semua bahan organik dari permukaan suatu benda melalui penggunaan gas terionisasi yang disebut plasma. *Plasma cleaning* dapat diaplikasikan untuk membersihkan pemukaan pada logam. Hidrogen plasma sangat efektif dalam menghilangkan oksida dari kaca maupun logam, karena sistem hidrogen plasma terdiri tahap tenaga RF, dua kontroler aliran massa untuk gas Ar dan gas H, modul kontrol daya RF serta pengatur jaringan. Ada beberapa metode *plasma cleaning* pada permukaan yaitu dengan metode menggunakan gas nitrogen-oksigen, hidrogen, helium atau gas argon. Mekanisme dari *plasma cleaning* pada permukaan logam yaitu didasarkan pada *sputter etching* yang membuat energi ion dapat memercik sehingga menggores permukaan melalui transfer momentum. Salah satu contoh *plasma cleaning* yaitu pada pembersihan koin Indian Kuno dengan gas Ar-H₂ dimana mekanismenya dilengkapi dengan sistem pengering yang ditempatkan pada reaktor dimana hanya spesies-spesies terionisasi dan gas-gas yang berinteraksi dengan koin pada tingkat atomik dan molekuler.

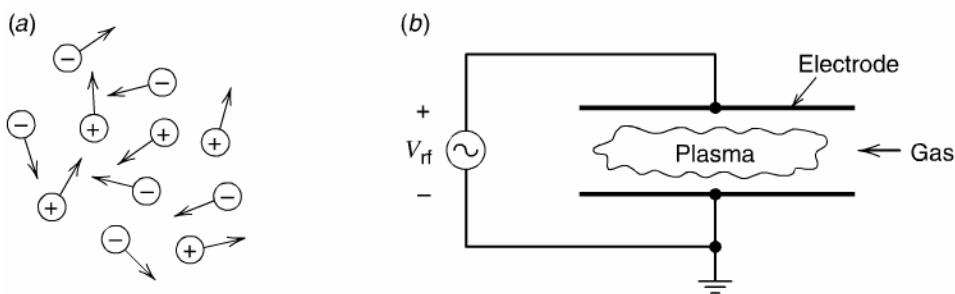
Kata kunci: *Plasma cleaning, sputtering, plasma Ar-H₂*

Abstract. Plasma cleaning is the process of removing all organic materials from the surface of an object through the use of ionized gas called plasma. Plasma cleaning can be applied to clean surface on the metal. Hydrogen plasma is very effective in removing oxides of glass or metal, since the hydrogen plasma system comprises an RF-powered stage, two mass flow controllers for Ar gas and H gas, power control module RF and thematching network. There are several methods of plasma cleaning on the surface, including the methods of using a nitrogen-oxygen gas, hydrogen, helium or argon gas. The mechanism of plasma cleaning on a metal surface is based on the sputter etching which produces ion energy which able to spatter the impurities, so it scratches the surface through the transfer of momentum. One example of plasma cleaning is on the cleaning of ancient Indian coins with Ar-H₂ gas in which was equipped with a dryer system that is placed in a reactor where only the species and the ionized gases interact with coins at the atomic and molecular level.

Keywords: *Plasma cleaning, sputtering, and Ar-H₂ plasma*

1. Pendahuluan

Plasma merupakan kumpulan atom-atom dan molekul-molekul gas netral, partikel-partikel bermuatan dalam bentuk ion-ion positif, ion-ion negatif, elektron serta foton [1]. Menurut definisi Langmuir, plasma adalah tingkat ionisasi yang tinggi dari suatu massa yang mengandung molekul atom elektron dan kuanta cahaya. Plasma bila ditinjau secara keseluruhan adalah netral, karena plasma itu sendiri terbentuk dari campuran muatan positif dan negatif dengan jumlah yang sama [2].



Gambar 1. (a) Ion dan elektron yang bergerak bebas dan (b) Proses pembentukan plasma [2].

Plasma merupakan kumpulan dari partikel bermuatan yang bergerak bebas dengan acak sehingga, secara rata-rata, memiliki muatan listrik yang netral seperti terlihat Gambar 1(a). Secara makroskopis, plasma dapat didefinisikan sebagai suatu zat fisis keempat setelah zat padat, zat cair dan gas. Plasma adalah gas yang dipanaskan sampai pada suhu kondisi, dimana sebagian dari gas tersebut terionisasi dan dapat menghantarkan arus listrik pemanasan gas menjadi plasma, seperti terlihat pada Gambar 2. Selain itu, plasma secara elektrik bersifat konduktor dan mengandung *free charge carrier* [3]. Pada saat busur dibangkitkan gas dalam busur yang mengalir mengitari elektroda, beberapa dari molekul gas dalam saluran berubah menjadi terionisasi. Aliran gas yang terionisasi atau busur plasma ini terdiri dari atom-atom positif dari busur gas, elektron-elektron yang sama dan atom-atom atau molekul netral. Konduktifitas elektrik dari busur plasma bervariasi sesuai dengan derajat ionisasinya [4].

Pengembangan plasma banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, salah satunya adalah aplikasi plasma sebagai *plasma cleaning*. *Plasma cleaning* merupakan proses menghapus atau menghilangkan semua bahan organik dari permukaan suatu benda melalui penggunaan gas terionisasi yang disebut plasma. Proses *plasma cleaning* dapat dipelajari dengan cara mempelajari karakteristik-karakteristik tiap prosesnya. *Plasma cleaning* dipengaruhi oleh dua perbedaan mekanisme, dimana mekanisme yang paling penting adalah proses *etching* [5].

Plasma cleaning of solid surface atau *plasma cleaning* pada permukaan padat merupakan topik hangat yang berkembang sangat cepat dari bidang pengolahan bahan. Untuk memahami proses *plasma cleaning*, berbagai macam parameter seperti reaktor tekanan, laju gas yang mengalir dan tahap suhu merupakan karakteristik yang harus dipelajari [6].

Salah satu aplikasi *plasma cleaning* yaitu untuk pembersihan permukaan pada logam. Keuntungan dari *plasma cleaning* pada permukaan yaitu tanpa mempengaruhi sifat material massa, dapat menghapus kontaminan pada bahan besar seperti logam, plastik, kaca, keramik, ramah lingkungan, dan lain-lain. Pada penelitian [6] noda pada koin Indian dapat dihilangkan dengan plasma gas Ar-H₂ untuk

meningkatkan detail permukaan dimana *plasma treatment* terjadi pada rekator vakum dengan tegangan RF maksimum 50W. Sedangkan pada penelitian [7] plasma gas H₂ dapat menghilangkan pembentukan metal carbide pada permukaan Co serta dapat menggunakan plasma NH₃.

Dengan berbagai manfaat dari *plasma cleaning*, maka paper ini dibuat untuk mengulas beberapa aspek tentang *plasma cleaning* pada permukaan beserta mekanisme reaksinya.

2. Pembahasan

Suatu electron – elektron, ion – ion, dan radikal – radikal dihasilkan dalam sebuah plasma. Interaksi mereka dengan sebuah permukaan padatan dikarenakan tiga fenomena dasar yang mempengaruhi pembersihan permukaan : pemanasan (*heating*), *sputtering*, dan *etching*.

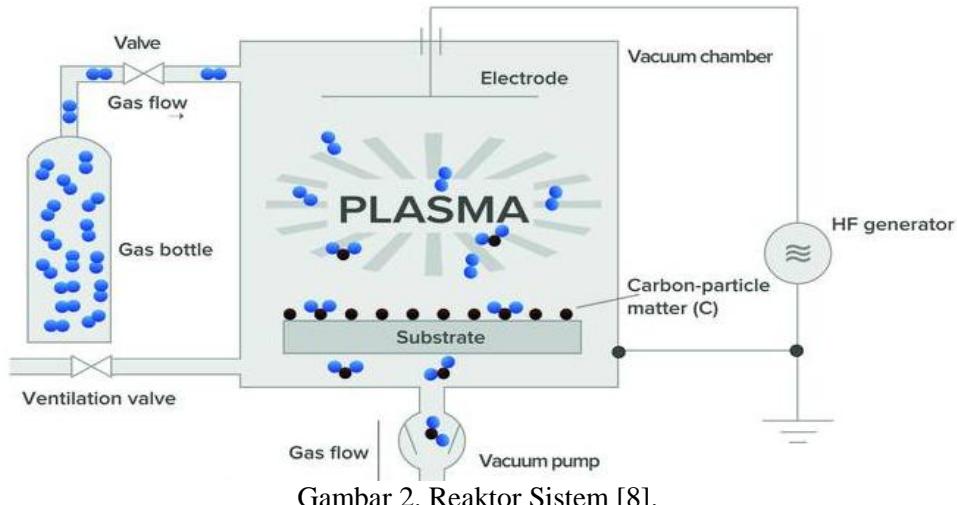
2.1 Metode dan mekanisme plasma cleaning pada logam

Dalam pembersihan suatu permukaan menggunakan plasma, terdapat macam-macam metode *plasma cleaning* yang digunakan yaitu dengan metode menggunakan gas nitrogen-oksigen, hidrogen, helium atau gas argon. Perbedaan pada metode ini adalah terletak pada tegangan permukaan yang telah termodifikasi, peningkatan ikatan antar permukaan dan adhesi, mengubah permukaan yang lembab untuk menjadi hidrofilik atau hidrofobik, proses *coating*: adhesi, kelembaban, korosi dan ketahanan aus, konduktivitas listrik dan isolasi, respon magnetik, reflektif atau anti-reflektif, anti mikroba, anti gores, anti air dan pewarnaan.

Salah satu metode *plasma cleaning* adalah dengan menggunakan gas argon. Aktivasi plasma adalah proses dimana polimer diperlakukan guna meningkatkan kemampuannya untuk dicat atau dicetak. Hal ini dilakukan dengan menggunakan plasma oksigen yang dapat berfungsi mengoksidasi lapisan luar polimer. Pada logam yang mudah teroksidasi, metode plasma argon sering digunakan. Gas argon berperan dalam menghilangkan kontaminan-kontaminan dalam permukaan logam. Dengan adanya proses pembersihan dengan argon tersebut tidak hanya menghasilkan produk logam yang bersih dari kontaminan-kontaminan, tetapi juga meningkatkan kepolaran, serta meningkatkan pencetakan dan pelapisan pada produk polimer. Plasma oksigen-argon juga digunakan untuk aktivasi plasma.

Plasma cleaning untuk semikonduktor dan permukaan logam memerlukan proses yang lama karena akan tersebar luas di banyak area, termasuk pada fabrikasi mikroelektronika. Ketika metode *plasma cleaning* menggunakan gas O₂ sering digunakan untuk menghilangkan kontaminan-kontaminan pada permukaan, terdapat permasalahan yang jelas dalam pembersihan logam yang sangat tipis, termasuk jalur interkoneksi. Sehingga, gas-gas lain seperti gas H₂, gas mulia atau plasma NH₃ adalah gas yang menarik perhatian [8].

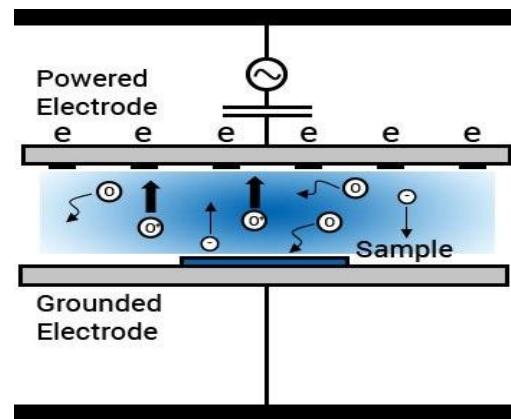
Plasma hidrogen sangat efektif menghilangkan oksida dari kaca atau produk logam. Sistem ini terdiri dari tegangan RF, dua kontroler aliran massa untuk gas Ar dan gas H, modul kontrol daya RF dan jaringan yang cocok. Reaktor dievakuasi dengan kombinasi pompa molekul rotari dan turbo untuk mencapai keadaan vakum dasar 10⁻⁶ Torr. Tekanan ruang dikendalikan oleh katup gerbang yang dioperasikan secara manual dan juga dengan mengendalikan laju aliran gas. Suhu sampel diukur dengan termokopel yang melekat pada sisi bawah.



Gambar 2. Reaktor Sistem [8].

2.2 Mekanisme

Plasma *etching* dijadikan dasar sebagai mekanisme untuk menghapus materi dari suatu permukaan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan berbagai sumber debit, seperti Glow *discharges*, DC, cc rf *discharges*, SWDs, ICPs dan ECRs. Tiga parameter yang paling penting untuk mengetching adalah tingkat keseragaman *etching*, anisotropi dan selektivitas. Awalnya, penyerapan dari spesies ini terjadi tergantung pada afinitas kimia dan temperatur permukaan. Spesies yang diserap dapat bereaksi dengan atom-atom dan molekul-molekul dari permukaan untuk membentuk produk atau melepaskan diri tanpa atau sebelum reaksi kimia terjadi. Jika produk dari reaksi adalah volatil, mereka dapat terlepas ke dalam fase gas dan dapat hilang melalui pemompaan. Pelepasan produk volatil memerlukan energi aktivasi dan, oleh karena itu, pelepasan ini meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur.



Gambar 3. Fenomena *etching* untuk *plasma cleaning* [9].

Pada mekanisme *plasma cleaning* pada permukaan logam, *sputter etching*-lah yang membuat energi ion dapat memercik kemudian mengores permukaan melalui transfer momentum, yang mana terjadi pada percikan deposisi. Mekanisme sputter-etching memang identik dengan sputter-deposisi, tapi debit parameter yang dioptimalkan untuk efisien penghapusan material dari target bukan pengendapan atom pada substrat. *Sputtering* kurang lebih merupakan proses *nonselective*. Namun, *sputtering* adalah proses anisotropik yang sangat tergantung pada sudut datang ion perusak. Gas argon merupakan gas yang digunakan untuk sputtering karena memiliki massa yang lebih tinggi dan mudah didapatkan. Mekanisme pembersih lainnya adalah *chemical etching* dengan spesies yang reaktif. Biasanya spesies yang reaktif adalah atom dan molekul yang tereksitasi, ion positif dan ion negatif. Atom atau radikal dari debit plasma kimia dapat bereaksi dengan target permukaan untuk membentuk proyektil dalam fasa gas. Ketika bagian yang akan dibersihkan dengan plasma mengandung oksida, akan terjadi pengurangan spesies (seperti H_2) agar menjadi efektif. Momentum ion argon diatur oleh tegangan selubung (*sheath voltage*). Tegangan selubung memiliki nilai negatif lebih besar dan lebih besar energi dari ion positif yang dihasilkan tingkat yang lebih tinggi dari *sputter etching*. Energi dari ion positif tergantung pada tekanan gas, tekanan gas yang lebih tinggi terdapat lebih banyak kesempatan tabrakan dengan spesies lain (netral) dan energi yang hilang, sehingga energi yang efektif dari ion tergantung pada kedua tegangan selubung dan tekanan. Akan tetapi tegangan selubung itu sendiri dipengaruhi oleh tekanan sehingga membuat sistemnya menjadi kompleks. Selanjutnya, untuk membersihkan plasma menjadi lebih efisien harus ada cukup atom tereksitasi dan ion lain yang tersedia untuk proses *chemical etching*. Oleh karena itu keseimbangan tekanan dan tegangan diperlukan untuk *plasma cleaning* yang optimal.

Salah satu contoh mekanisme *plasma cleaning* yaitu pada pembersihan noda pada koin Indian dapat dihilangkan dengan plasma gas Ar-H₂.



Gambar 4. Koin 25 Naye Paise 1960: (a) sebelum di-*treatment* plasma dan (b) sesudah *treatment* dengan plasma [6].

Dalam aplikasi ini, *plasma cleaning* dilengkapi dengan sistem pengering yang ditempatkan pada reaktor dimana hanya spesies-spesies terionisasi dan gas-gas yang berinteraksi dengan koin pada tingkat atomik dan molekuler. Sehingga koin Indian kuno ini dibersihkan dengan plasma Ar-H₂ dalam reaktor pembangkit RF. Perbedaan antara koin Indian kuno sebelum di-treatment dengan plasma dan sesudahnya ditunjukkan pada Gambar 4 [6].

3. Kesimpulan

Plasma dapat didefinisikan sebagai suatu zat fisis keempat setelah zat padat, zat cair dan gas. Salah satunya aplikasi pengembangan plasma adalah sebagai *plasma cleaning*. *Plasma cleaning* merupakan proses menghapus atau menghilangkan semua bahan organik dari permukaan suatu benda melalui penggunaan gas terionisasi yang disebut plasma. Salah satu aplikasi dari *plasma cleaning* yaitu pada logam. Tujuan dari pembersihan permukaan suatu benda logam adalah untuk menghapus kontaminan-kontaminan yang membentuk suatu lapisan di atas permukaan logam. Dalam pembersihan suatu permukaan menggunakan plasma, terdapat macam-macam metode *plasma cleaning* yang digunakan yaitu dengan metode menggunakan gas nitrogen-oksigen, hidrogen, helium atau gas argon. Salah satu metode yang digunakan adalah pada plasma hidrogen yang sangat efektif menghilangkan oksida dari kaca atau produk logam. Sistem ini terdiri dari tegangan RF, dua kontroler aliran massa untuk gas Ar dan gas H, modul kontrol daya RF dan jaringan yang cocok. Selain itu pembersihan koin Indian Kuno dengan gas Ar-H₂ dimana mekanismenya dilengkapi dengan sistem pengering yang ditempatkan pada reaktor dimana hanya spesies-spesies terionisasi dan gas-gas yang berinteraksi dengan koin pada tingkat atomik dan molekuler.

Referensi

- [1] Sugiarto, A. T., 2006, Electrical Discharged dalam Air dan Aplikasinya dalam Pengukuran Senyawa Organik. *Prosiding Seminar Nasional Tenaga Listrik dan Mekanik*.
- [2] Linuwih, A. N., 2008, Pengaruh Perubahan Jarak Semprot terhadap Pelapisan Logam Paduan Nikel-Alumunium (Metco 404) dalam Proses Semprot Plasma *Skripsi* Fakultas Teknik Industri Universitas Mercu Buana Jakarta.
- [3] Lieberman, M. A., & Lichtenberg, A. J., 2005, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing *A Wiley-Interscience Publication*.
- [4] Althouse, A. D., 1984, *Modern Welding 5th Edition*. South Holland Illinois, The Goodheart Willcox Company Inc.
- [5] Chapman, B., 1980, Glow Discharge Processes. *John Wiley and Sons* 297 (Chapter 7).
- [6] Pradhan, S. K., & Jeevitha. M., & Singh, S. K., 2015. Plasma Cleaning of Old Indian Coin in H₂-Ar Atmosphere *App. Surf. Sci.* **357**, 445-451.
- [7] Dong B, Driver, M.s, Emesh I, Shaviv, R Kelber JA, 2016 Surface chemistry and fundamental limitations on the plasma cleaning of metals *App. Surf. Sci.* **84** 294-297.
- [8] Diener, 2016, Low pressure plasma system. *Coating by plasma polymerization* diakses 1 November 2016.
- [9] Samco, 2016, Plasma etching (PE) mode. *Plasma cleaners (Tabletop and Production Models)* diakses 1 November 2016.

Plasma sterilisasi *Escherichia coli* (*Plasma Sterilization of Escherichia coli*)

Annisa Syam, Aufara Mahayum*, Bondan Mutiara Wildam Sunardi, Era Putri Anandita,
Syahna Febrianastuti

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126 Indonesia

*E-mail: mahayumaufara@gmail.com

Abstrak. Artikel ini mengulas suatu teknologi baru untuk sterilisasi bakteri *Escherichia coli* dengan menggunakan plasma pijar non termik pada tekanan atmosfer. Plasma dibangkitkan dalam sebuah reactor korona positif dengan konfigurasi elektroda titik-bidang. Plasma tersebut dibangkitkan di udara dengan tegangan ambang korona sebesar 3.0 kV, jarak antar elektroda 0,4 cm, suhu yang digunakan 37,1 °C dan arus sebesar 1,5 mA. Gas oksigen merupakan gas yang dialirkan dalam *plasma chamber*, sehingga dihasilkan plasma non termik pada keadaan atmosfer. Ruang reaktor plasma lucutan korona dengan elektroda positif jarum terbuat dari kawat tembaga berdiameter 1,5 mm dan elektroda negatif bidang dari lempengan tembaga. Pengujian sterilisasi telah dilakukan dengan menggunakan bakteri *Escherichia coli*. Bakteri-bakteri ini dibiakkan dalam medium EA (*Merck*) berbentuk mangkuk yang diameternya 10 cm. Plasma lucutan pijar korona menurunkan jumlah koloni mikroorganisme (CFU/ml) pada permukaan mangkuk. Hasilnya menunjukkan bahwa metode sterilisasi ini mampu membunuh 96,8% dari jumlah populasi bakteri setelah radiasi plasma selama 100 detik.

Kata kunci: plasma sterilisasi, bakteri *Escherichia coli*, reaktor korona positif, elektroda titik-bidang

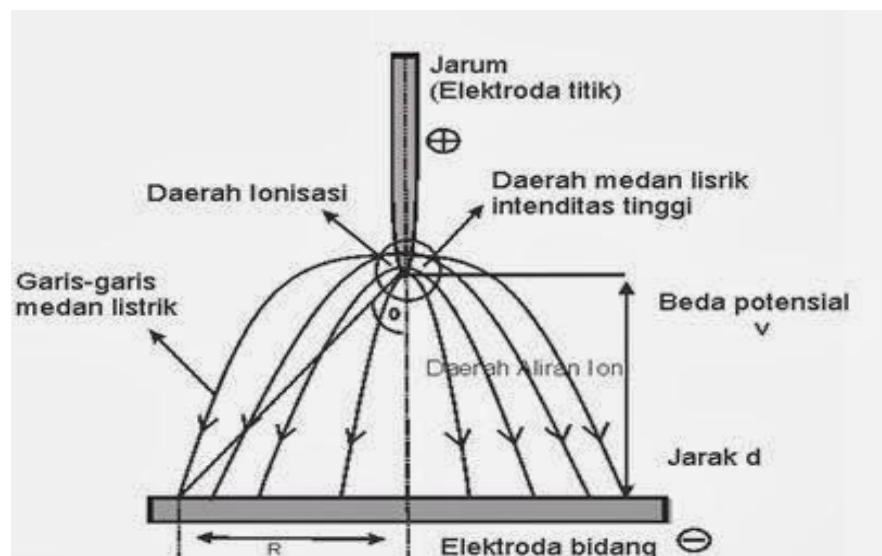
Abstract. This article reviews a new technology to sterilize bacteria using non-thermic glow discharge atmospheric plasma. The plasma was generated in a reactor with a positive corona using a point-to-plate electrode configuration. On an atmospheric situation, the plasma was maintained with 0.4 cm gap between two electrodes at 37.1°C and a direct current of 1.5 mA. Oxygen gas was used as the supplied gas on the plasma chamber, which forms a non-thermal atmospheric plasma. The reactor chamber of corona's discharge plasma was made by using positive charge point electrode from copper wire with a diameter of 1.5 mm and with negative charge plate electrode. Sterilization test was done by using *Escherichia coli* bacteria. These bacteria were treated on EA medium (*merck*) bowl with diameter of 10 cm. Corona's glow discharge plasma had decreased the total of microorganism (CFU/ml) on the plate. The result showed that this sterilization method was able to kill 96.8% from the total population of bacteria after plasma radiation treatment for 100 seconds.

Keywords: sterilization plasma, *Escherichia coli* bacteria, corona's positive charge reactor, point-to-plate electrode

1. Pendahuluan

Sejak penghujung dasawarsa 90-an, kebutuhan akan suatu pendekatan baru terhadap metoda sterilisasi yang bekerja pada temperatur rendah dan mempunyai tingkat disinfeksi yang tinggi sangat meningkat. Kebutuhan ini sangat terasa pada bidang kesehatan (medis), industri makanan, ventilasi, dan industri *air condition* (AC). Teknologi yang dicari adalah teknologi yang mampu bekerja dengan baik pada suhu yang rendah dan tidak merusak material-material yang sangat sensitif terhadap pengaruh termik.

Teknik dekontaminasi konvensional yang selama ini dan umum digunakan adalah dengan pemanasan diatas suhu 150° C, sehingga sangat terbatas penggunaannya. Teknik lain yang dikenal adalah dengan menggunakan arus listrik d.c. dan a.c., namun sel yang terbunuh oleh pulsa medan listrik tidak hancur, dan spora bakteri, lumut relatif tidak sensitif untuk pulsa tegangan tinggi [1]. Selain itu, ada teknik dekontaminasi dengan menggunakan radiasi dan sejumlah unsur anti jasad renik. Radiasi dan unsur anti jasad renik tersebut berfungsi untuk merusak DNA. Akan tetapi, teknik sterilisasi tersebut memiliki beberapa kelemahan antara lain; terjadi denaturasi protein, mempengaruhi cita rasa makanan dan bentuk-bentuk spora bakteri (*gram positive bacteria*) masih ada. Selain itu radiasi Gamma yang menggunakan zat radioaktif, tidak dapat digunakan secara meluas karena diperlukan prosedure standar yang agak rumit dalam hal keamanannya. Desinfeksi kimia hanya berhasil dalam batas-batas kelembaban yang relatif sempit. Dekontaminasi mikroorganisme dengan plasma non termik pada temperatur ruang dan tekanan kamar, dapat mengurangi jumlah pembentukan koloni per unit dari beberapa mikroorganisme pada permukaan.



Gambar 1. Ilustrasi daerah antara dua elektroda pada lucutan korona titik bidang dengan polaritas positif pada elektroda titik [5].

Plasma lucutan pijar korona, seperti yang ditampilkan dalam Gambar 1, adalah salah satu jenis plasma non termik dan merupakan sumber ion, electron dan radikal bebas [2]. Ketika ion yang dihasilkan oleh plasma lucutan pijar korona mengenai suatu sel bakteri maka akan terbentuk radikal bebas hidrogen,

gugus hidroksil yang radikal dan beberapa peroksida yang dapat menyebabkan beberapa jenis kerusakan dalam sel [3]. Setiap molekul reaktif tersebut mampu menurunkan dan merubah biopolimer seperti asam deoksiribonukleat (DNA/*deoxycyribonucleid acid*) dan protein. Ion dapat berinteraksi langsung dengan DNA sehingga menyebabkan pecahnya ikatan polimer. Ionisasi dan penurunan (degradasi) molekul penting dalam materi biologi seperti DNA dan protein enzim memicu terjadinya kematian pada sel [4].

2. Pembahasan

2.1 Metode Penelitian

Plasma lucutan pijar korona dibangkitkan dalam reaktor konfigurasi geometri titik-bidang. Sumber tegangan tinggi yang digunakan adalah sumber tegangan d.c sebesar 3,0 kV dengan gas oksigen sebagai gas yang dialirkan dalam plasma *chamber*, sehingga dihasilkan plasma non termik pada keadaan atmosfer dan pada suhu 37,1 °C. Jarak antar elektroda titik dan bidang yaitu 0,4 cm dan posisinya harus tegak lurus sehingga lucutan pijar yang terbentuk serempak.. Ruang reaktor plasma lucutan korona dengan elektroda positif jarum terbuat dari kawat tembaga berdiameter 1,5 mm dan elektroda negatif bidang dari lempengan tembaga.

a. Sterilisasi peralatan

Seluruh alat disterilkan di dalam oven pada suhu 180°C selama 2 jam. Alat-alat seperti jarum preparat dan ose disterilkan dengan pembakaran langsung di atas lampu spiritus. Alat-alat gelas disterilkan secara kimia dengan menggunakan larutan alkohol 90% dan dipanaskan di atas lampu spirtus.

b. Medium pembiakan bakteri

Medium yang digunakan yaitu medium *Nutrient Agar* (*Merck*), medium *Nutrient Broth* (*Merck*), dan medium *Endo Agar* (*Merck*). Bahan medium ditimbang dan dilarutkan dalam akuades menurut komposisi dari masing-masing medium, lalu dipanaskan di atas *hot plate*. Selanjutnya semua medium disterilkan di dalam autoklaf dengan tekanan 2 atm pada suhu 120°C selama 15- 20 menit.

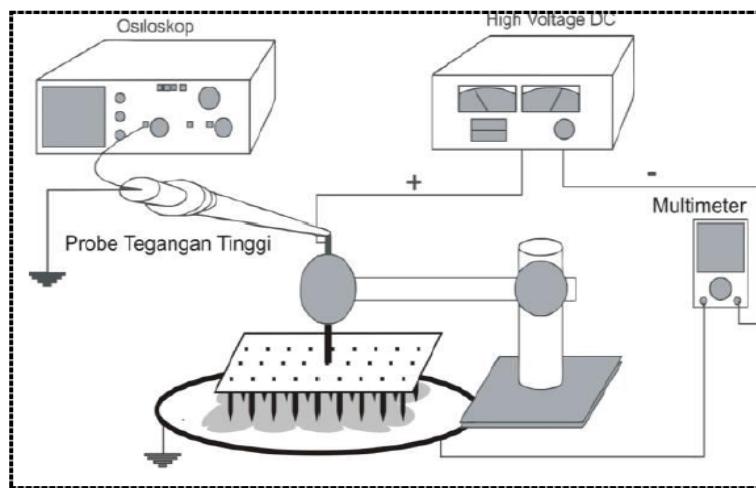
c. Penghitungan jumlah sel/ml

Bakteri *E. coli* dari kultur induk pada medium Nutrien Agar diinokulasikan pada media miring *Nutrient Agar*, diinkubasi pada suhu kamar selama 24 jam. Satu ose biakan bakteri ini selanjutnya diinokulasikan pada 50 ml medium *Nutrient Broth* dan diinkubasi pada suhu kamar selama 10 jam. Kerapatan sel diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 620 nm sampai diperoleh transmisi 70% ($1,0 \times 10^{-8}$ sel/ml). Untuk menghitung jumlah bakteri dapat digunakan beberapa cara. Cara pertama yaitu penghitungan jumlah bakteri secara keseluruhan (total *cell count*) baik bakteri yang hidup maupun mati. Cara kedua yaitu penghitungan jumlah bakteri yang hidup (*viable count*). Penghitungan jumlah mikroorganisme dengan cara *viable count* atau disebut juga *standard plate count* didasarkan pada asumsi bahwa setiap sel mikroorganisme hidup dalam suspensi akan tumbuh menjadi satu koloni setelah diinkubasikan dalam media biakan dan lingkungan yang sesuai. Setelah masa inkubasi, jumlah koloni yang tumbuh

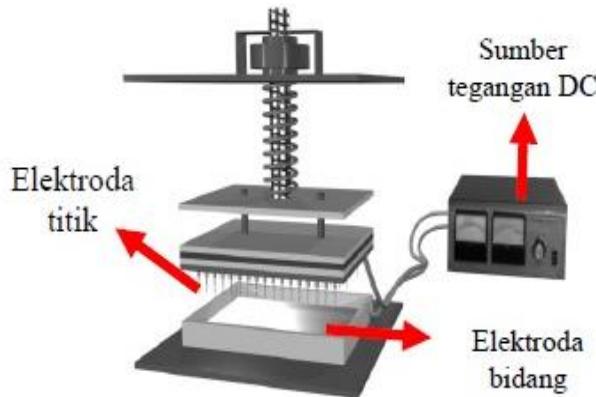
dihitung dan merupakan perkiraan atau dugaan dari jumlah mikroorganisme dalam suspensi tersebut. Penghitungan jumlah mikroorganisme hidup (*viable count*) adalah jumlah minimum mikroorganisme. Hal ini disebabkan koloni yang tumbuh pada lempengan agar merupakan mikroorganisme yang dapat tumbuh dan berbiak dalam media dan suhu inkubasi tertentu. Lempeng agar yang mengandung 30-300 koloni saja yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam perhitungan. Lempeng agar dengan jumlah koloni yang tinggi (>300 koloni) sulit untuk dihitung sehingga kemungkinan kesalahan perhitungan sangat besar

d. Uji dekontaminasi

Satu ml kultur bakteri *E. coli* berumur 48 jam dengan kerapatan $1,0 \times 10^8$ sel/ml diinokulasikan pada medium EA dalam cawan petri, sebanyak 24 cawan. Penyinaran plasma 0 (kontrol), 20, 40, 60, 80, dan 100 detik dengan masing-masing 4 petri untuk setiap perlakuan. Semua cawan diinkubasi pada suhu 37,1°C selama 48 jam, selanjutnya dihitung jumlah koloni bakteri yang muncul. Tahap perlakuan diulang 3 kali.



Gambar 2. Sketsa rangkaian generator plasma menggunakan elektroda titik-bidang [6].



Gambar 3. Desain sistem reaktor plasma lucutan pijar korona [7].

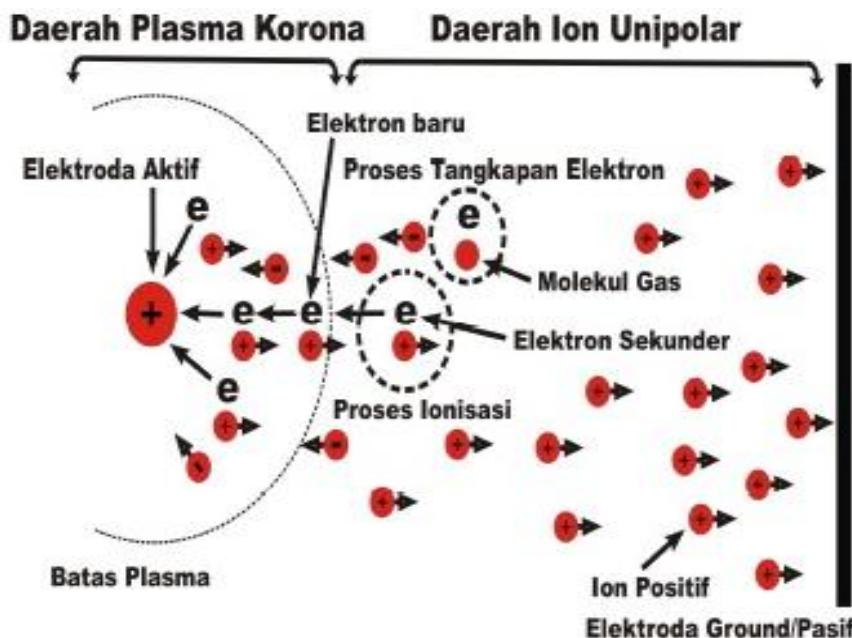
2.2 Pembahasan hasil

Korona adalah terlepasnya muatan listrik dari permukaan konduktor yang merupakan salah satu gejala tembus parsial karena adanya kuat medan listrik yang sangat tinggi di permukaan elektroda sehingga terjadi tembus di sekitar daerah elektroda tersebut. Korona diawali dengan adanya ionisasi dalam udara yaitu adanya kehilangan electron dari molekul udara[8].

Plasma pijar korona merupakan sebuah *plasma non-thermal (non-tehremal equilibrium)* yang terkarakterisasikan dengan temperatur gas rendah dan temperatur elektron tinggi. Lucutan korona dimulai ketika medan listrik disekitar elektroda dengan bentuk geometri sangat lengkung (elektroda aktif) memiliki kemampuan untuk mengionisasi spesies gas [9].

Mekanisme lucutan korona yang terjadi yaitu:

- a. Sebuah molekul atau atom netralnya medium, di dalam sebuah medan listrik yang kuat diionisasikan untuk menciptakan sebuah ion positif dan elektron bebas.
- b. Medan listrik lalu beroperasi pada partikel-partikel bermuatan lalu memisahkan, mencegah penggabungan kembali, serta mempercepat partikel-partikel itu, memberikan energi kinetik setiap partikel.
- c. Sejumlah pasangan ion elektron/positif bisa diciptakan dengan menabrakkan atom-atom netral. Lalu mereka mengalami proses pemisahan yang sama.
- d. Proses energi plasma ini diubah menjadi disosiasi electron tahap awal untuk menyebabkan longsoran lebih jauh lagi.
- e. Sebuah spesies ion tercipta di dalam rangkaian longsoran.

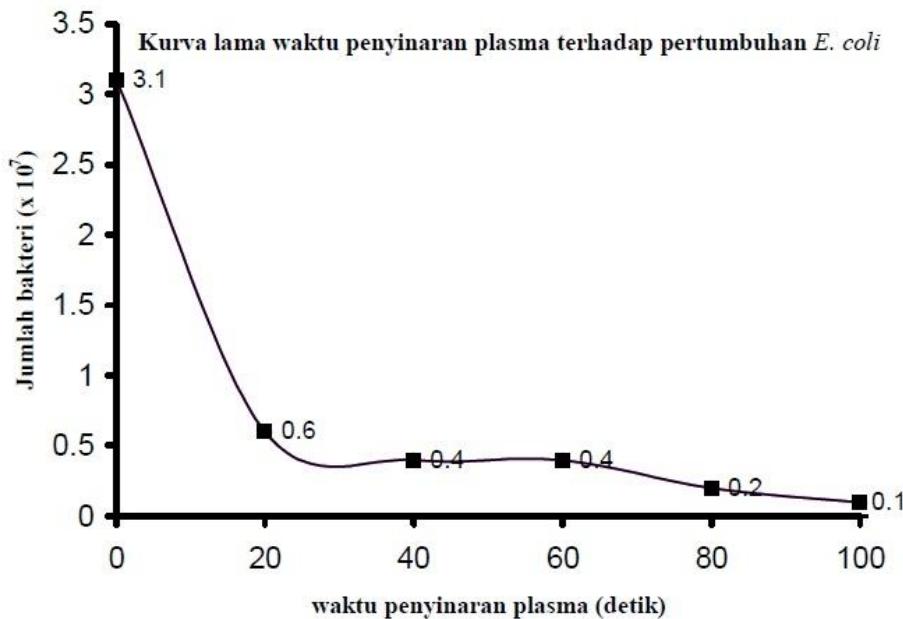


Gambar 4. Proses pembangkitan plasma lucutan pijar korona pada ruang antar elektroda [10].

Terjadinya plasma lucutan pijar korona ditandai dengan adanya bunyi berdesis di antara elektro dan disertai puncaran (emisi) cahaya tampak. Warna lucutan yang terjadi di udara bebas adalah warna ungu kebiruan (ungumuda). Tegangan yang diperlukan untuk mulai terjadinya plasma lucutan pijar korona disebut tegangan ambang korona yang dipengaruhi oleh jarak antara elektroda karena elektron-elektron harus mempunyai energi yang cukup untuk mengionisasi atom-atom gas yang ada di antara elektroda. Semakin jauh jarak antar elektroda, maka tegangan ambang juga semakin besar, jarak antar elektroda pada percobaan ini sebesar 0,4 cm. Lucutan pijar yang terjadi diujung-ujung jarum kurang serempak dan mempunyai intensitas yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh posisi antara jarum (elektroda titik) dan plat besi (elektroda bidang) tidak benar-benar saling tegak lurus. Penambahan tegangan setelah tercapai tegangan ambang mengakibatkan tegangan yang terbaca pada voltmeter menurun dan arus meningkat dengan tajam. Tegangan pada penelitian ini menurun sampai 0.8 kV dan arus meningkat dengan tajam melebihi 2 mA yang menandakan telah terjadi lucutan arc.

2.3 Dekontaminasi *E. coli* dengan Penyinaran Plasma Lucutan Pijar Korona

Uji dekontaminasi *E. coli* dengan plasma lucutan pijar korona didapatkan seperti kurva pada Gambar 6 yang menunjukkan bahwa jumlah bakteri yang hidup semakin berkurang sejalan dengan penambahan waktu penyinaran plasma. Lama waktu penyinaran plasma berkorelasi positif dengan pengurangan jumlah bakteri. Jumlah bakteri yang hidup mengalami pengurangan 96.8% pada penyinaran plasma selama 100 detik.



Gambar 5.Kurva Lama Waktu Penyinaran Plasma terhadap Pertumbuhan *E. coli* [11].

Terjadinya mekanisme dekontaminasi diduga karena lingkungan udara plasma menghasilkan cahaya ultraviolet, molekul oksigen aktif dan beberapa spesies radikal aktif yang mempunyai kemampuan untuk membunuh sel bakteri. Plasma lucutan pijar korona merupakan sumber ion, yang dapat merubah struktur mikro bahan, sehingga merubah sifat-sifat fisik dan kimia bahan tersebut yang dapat menyebabkan membran terluar sel mengalami kebocoran. Kerusakan membran terluar ini akan mengakibatkan mikroorganisme mudah diserang oleh lucutan reaktif plasma. Ion dapat berinteraksi dengan DNA sehingga menyebabkan pecahnya ikatan polimer. Ionisasi dan penurunan (degradasi) molekul dapat memicu terjadinya kematian sel bakteri. Irradiasi UV dapat membunuh bakteri secara efektif. Spektrum cahaya dengan intensitas tinggi mempunyai pengaruh yang paling utama dalam kematian sel. Irradiasi UV ini dapat menyebabkan kerusakan DNA. Basa purin dan pirimidin sebagai materi dasar DNA menyerap radiasi UV yang terbanyak.

Ketika ion yang dihasilkan oleh plasma lucutan pijar korona mengenai suatu sel bakteri maka akan terbentuk radikal bebas hidrogen, gugus hidroksil yang radikal dan beberapa peroksida yang dapat menyebabkan beberapa jenis kerusakan dalam sel. Pecahnya membran bakteri dikarenakan oleh perubahan membran lipid yang disebabkan asam lemak peroksida. Setiap molekul reaktif tersebut mampu menurunkan dan merubah biopolimer seperti asam deoksiribonukleat (DNA/deoxycyribonucleid acid) dan protein. Ion dapat berinteraksi langsung dengan DNA sehingga menyebabkan pecahnya ikatan polimer. Ionisasi dan penurunan (degradasi) molekul penting dalam materi biologi seperti DNA dan protein enzim memicu terjadinya kematian pada sel.

3. Kesimpulan

Plasma pijar korona merupakan sebuah *plasma non-thermal (non-thermal equilibrium)* yang terkarakterisasikan dengan temperatur gas rendah dan temperatur elektron tinggi. Lucutan korona dimulai ketika medan listrik di sekitar elektroda dengan bentuk geometri sangat lengkung (elektroda aktif) memiliki kemampuan untuk mengionisasi spesies gas. Pada penelitian uji dekontaminasi bakteri *E. coli* dengan plasma lucutan pijar korona pada tekanan atmosfer yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- a. Penyinaran plasma pada tegangan nambang 3,0 kV dengan arus 1,5 mA dan jarak antar elektroda \pm 0,4 cm dapat mengurangi jumlah bakteri *E.coli* yang ditanam pada medium Endo Agar (*Merck*) pada cawan petri.
- b. Penyinaran plasma selama 100 detik dengan rata-rata jumlah bakteri yang datang $3,1 \times 10^7$ bakteri mengakibatkan bakteri berkurang menjadi $0,1 \times 10^7$ bakteri, jadi bakteri mengalami pengurangan 96,8%.

Referensi

- [1] Brimmingham, J. G. & Hammerstrom, D. J., 2000, Bacterial Decontamination Using Ambient Pressure Nonthermal Discharge. *IEEE Transaction on Plasma Science* **28**.
- [2] Nur, M., 1998, Fisika Plasma dan Aplikasinya. *Makalah Stadium General*, Jurusan Fisika Fakultas MIPA UNDIP Semarang.
- [3] Black, J. G., 1999, *Microbiology Principles and Exploration Fourth Edition*, New Jersey, A Viacom Company.
- [4] Parker, M. M., 1997. *Biology of microorganismis, Eight Edition*, New Jersey, Prentice Hall. Inc.
- [5] Nur. M., Bonifaci, N., & Denat, A., 2014, Ionic Wind Phenomenon and Charge Carrier Mobility in Very High Density Argon Corona Discharge Plasma. *Journal of Physics Conference Series* **495**.
- [6] Nur. M, Irfan, W. N., Zaenul, M., & Sjafrul, L., 2011, Produksi Ion Nitrogen dalam Reaktor Plasma Lucutan Pijar Korona Konfigurasi Multi Titik Bidang dan Pemanfaatan untuk Pengayaan Nitrogen pada Pupuk Kompos. *Jurnal Sains dan Matematika* **2**, 60-64.
- [7] Pandji, T., Nasruddin, J. W., & Nur M, 2007, Rancang Bangun dan Pengujian Sistem Reaktor Plasma Lucutan Pijar Korona guna Mempercepat Pertumbuhan Tanaman Mangrove. *Berkala Fisika ISSN: 1410 – 9662* **10**, 137-144.
- [8] Arismunandar, A., 1994. *Teknik Tegangan Tinggi*, Jakarta, PT Pradnya Paramita.
- [9] Wardaya, A. Y. & Nur, M., 2010, Analisis Medan Listrik Pada Plasma Korona dengan Konfigurasi Cincin Bidang. *Berkala Fisika* **13**.
- [10] Chen, J., Davidson, J. H., 2002, Electron Density and Energy Distributions in the Positive DCCorona: Interpretation for Corona-Enhanced Chemical Reactions. *Plasma Chem. Plasma Process.* **22**.
- [11] Nur. M., Rukmi, M. G. I. R., & Komariyah, 2005, Metode Baru Untuk Dekontaminasi Bakteri dengan Plasma Non Termik Pada Tekanan Atmosfer. *Berkala Fisika* **3**, 91-98.

Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Corona Discharge

(*Wastewater Treatment Using Corona Discharge*)

Muhammad Jefri Dwi Nugroho*, Annisa Dinan Ghaisani, Elsa Ninda Karlinda Putri, Jessica Primanita Ramadhani, Octaria Priwidayasari, Rafinda Marsha Aliestyani

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126 Indonesia

*E-mail: ahmadjepri@gmail.com

Abstrak. Pencemaran lingkungan akibat polusi di tanah, air dan udara semakin bertambah kompleks. sehingga dalam beberapa tahun terakhir, teknologi pengolahan air limbah menggunakan teknologi plasma telah menarik banyak perhatian. Salah satu cara menanggulangi masalah pencemaran air atau polusi air dapat dilakukan dengan memanfaatkan peristiwa plasma lucutan korona. Plasma lucutan korona dapat terbentuk dengan menerapkan tegangan tinggi pada dua buah elektroda yang dihadapkan dengan jarak tertentu. Metode ini dibuat dengan penambahan aliran gas oksigen pada reaktor plasma lucutan korona sebagai bahan yang terionisasi untuk memproduksi ozon. Analisa Karakteristik dilakukan pada kadar COD, TSS, pH dan warna dengan variasi sirkulasi dan tegangan. Nilai yang efektif dihasilkan pada 18 kV dengan sirkulasi ke-6. Diharapkan pengolahan limbah cair industri minuman dapat lebih efektif.

Kata kunci: limbah cair industri minuman, plasma lucutan korona, ozon

Abstract. The environmental pollution inflicted by the pollution in the soil, water, and air is increasingly complex. In recent years, the technology of wastewater treatment using plasma technology has attracted much attention. One of the ways to cope with the problem of water pollution can be done by utilizing plasma corona discharge phenomenon. Plasma corona discharge can be formed by applying a high voltage to the two electrodes which are confronted in a certain distance. This method is made by adding the oxygen gas flow to the plasma corona discharge reactor as the ionized material to produce ozone. The characteristics analysis is performed on the level of COD, TSS, pH, and colour with variations of circulations and voltages. The effective value is generated at 18 kV with a 6th circulation. It is expected that by applying plasma corona discharge technology, the wastewater treatment of beverage industry can be more effective.

Keywords: drink industry waste water, plasma corona discharge, ozone

1. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan akibat polusi di tanah, air dan udara semakin bertambah kompleks. Permasalahan lingkungan saat ini yang dominan salah satunya adalah limbah cair berasal dari industri minuman. Limbah cair yang tidak dikelola akan menimbulkan dampak yang luar biasa pada perairan, khususnya sumber daya air. Kelangkaan sumber daya air di masa mendatang dan bencana alam semisal

erosi, banjir, dan kepunahan ekosistem perairan tidak pelak lagi dapat terjadi apabila kita kaum akademisi tidak peduli terhadap permasalahan tersebut.

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki fungsi sangat penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Pencemar air limbah dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu berupa padatan dan zat organik yang mampu didegradasi secara biologi (biodegradasi atau *biodegradable*). Ukuran padatan di dalam air limbah sangat berbeda, misalnya partikel yang nampak atau zat yang tidak larut memiliki ukuran $> 0,1 \mu\text{m}$. Zat dengan ukuran partikel antara 1 dan 100 nm disebut partikel koloidal, sedangkan padatan yang larut memiliki ukuran dari 1 nm atau lebih kecil. Padatan tidak larut dapat dipisahkan dari padatan larut melalui filtrasi, yaitu sisa material dari dan pada bagian atas filter atau penapis, setelah dikeringkan dan ditimbang maka padatan tidak larut dapat ditentukan [1].

Beberapa tahun terakhir, teknologi pengolahan air limbah industri minuman menggunakan teknologi plasma telah menarik banyak perhatian. Plasma merupakan jenis zat keempat selain zat klasik padat, cair dan gas yang ditemukan pada tahun 1928 oleh ilmuwan Amerika, Irving Langmuir dalam eksperimentnya melalui lampu tungsten filament. Plasma dibuat dengan pemanfaatan tegangan listrik dengan menghadapkan dua elektroda di udara bebas. Salah satu cara menanggulangi masalah pencemaran air atau polusi air dapat dilakukan dengan memanfaatkan peristiwa plasma lucutan korona [2].

Lucutan korona dapat terbentuk di dalam medan listrik tak serba sama (*non-uniform electric field*) yang kuat, tetapi kuat medan yang dibangkitkan tidak cukup besar untuk menimbulkan lucutan arc (*arc discharge*) pada gas. Medan listrik tak serba sama ini dapat dibangkitkan dengan sistem elektroda misalnya: titik-bidang, kawat-bidang, pisau bidang, dan lain-lain [3].

Pembangkitan suatu tegangan tinggi terbagi menjadi beberapa jenis, diantaranya pembangkitan tegangan tinggi bolak – balik (AC), pembangkitan tegangan tinggi searah (DC) dan pembangkitan tegangan tinggi impuls [4]. Ozon adalah pengoksidasi yang kuat terdiri dari molekul oksigen (O_2) yang dapat menggantikan klorin sehingga digunakan untuk mengolah air limbah, penghangat bau, disinfektan, polusi udara, debu, pemrosesan makanan, sterilisasi alat medis dan dapat menghamburkan kuman. Ozon adalah komponen yang tidak stabil dan terurai (menit) pada temperatur lingkungan dan terurai sangat cepat($<1\text{s}$) pada temperatur tinggi [5].

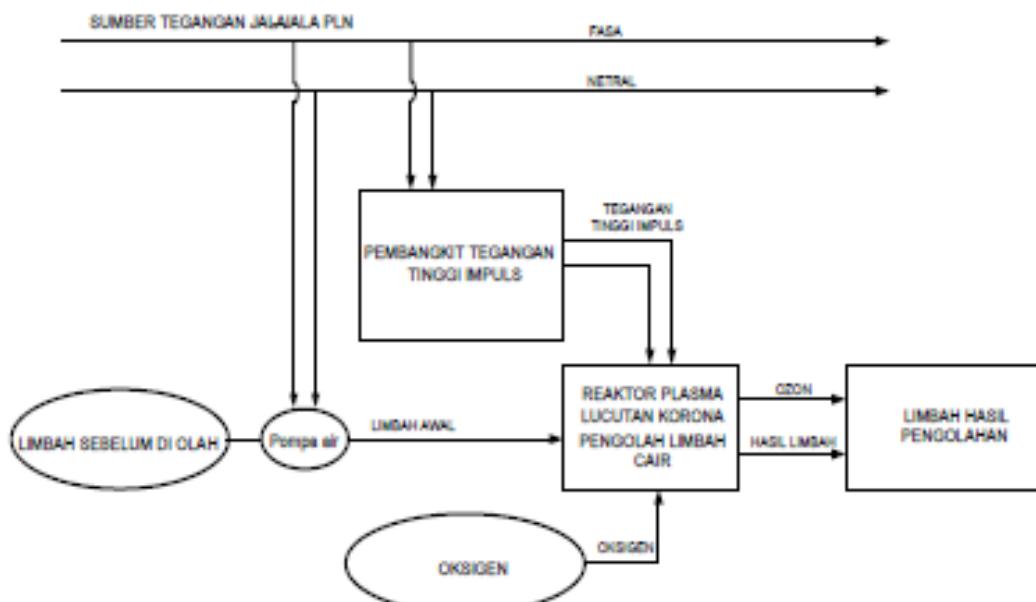
2. Pembahasan

Pengolahan limbah cair industri minuman ringan dengan teknologi plasma lucutan korona merupakan aplikasi plasma sterilisasi, dimana prinsip dari plasma sterilisasi ini menggunakan plasma yang terdiri atas elektron, ion-ion, maupun partikel netral.

Teknologi plasma untuk pengolahan limbah cair industri minuman ringan dibentuk dengan memanfaatkan tegangan listrik, yaitu dengan menghadapkan dua kutub elektroda dengan memberikan tegangan listrik searah yang cukup tinggi yang nantinya akan menghasilkan loncatan ion. Ion positif dan negatif yang dihasilkan bergerak bebas mengikat elektron-elektron.

Prosedur pengolahan limbah cair industri minuman ringan ini dilakukan analisa awal COD dan TSS, untuk melakukan proses teknologi plasma kemudian air limbah di dimasukkan kedalam reaktor sebanyak 1 liter kemudian *rectifier* dihubungkan dengan arus listrik, dan selanjutnya elektroda dihubungkan dengan *rectifier*. Elektroda dihubungkan pada kutub positif dan dihubungkan pada kutub negatif, kemudian dialiri listrik sesuai peubah yang ditetapkan dengan ketentuan waktu proses disesuaikan dengan waktu yang telah ditetapkan. Hasilnya lalu disaring dalam kertas saring kemudian dianalisa terhadap COD dan TSS.

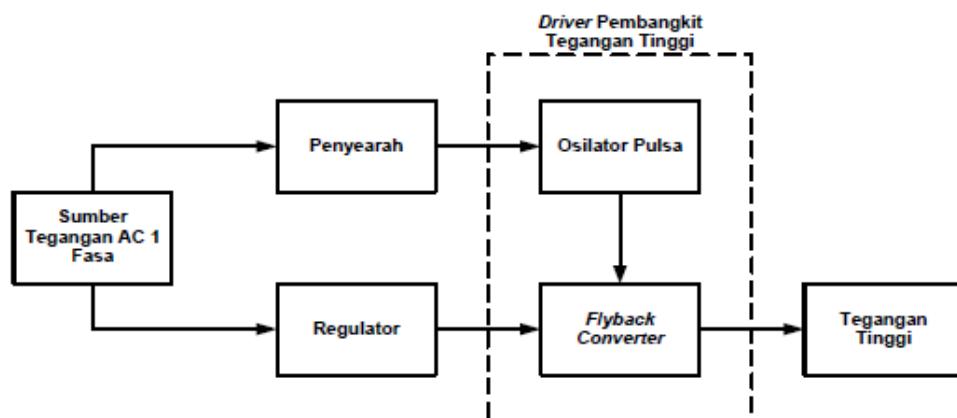
Berikut merupakan blok diagram alat untuk aplikasi pengolahan limbah cair industri minuman ringan dengan teknologi plasma lucutan korona ini terdiri dari pembangkitan tegangan tinggi impuls, reaktor plasma lucutan korona pengolah limbah cair, pompa air aquarium dan oksigen.



Gambar 1. Blok Diagram Alat [2].

2.1 Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls

Pembangkit tegangan tinggi impuls terdiri dari penyearah, regulator tegangan dan *driver* pembangkit tegangan tinggi impuls. Diagram bloknya dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini :



Gambar 2. Blok diagaram pembangkit tegangan tinggi [2].

a. Driver Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls

Driver pembangkit tegangan tinggi impuls yang dibuat terdiri dari dua bagian utama yaitu rangkaian daya dengan menggunakan rangkaian flyback converter dan rangkaian kontrol yaitu osilator pulsa. Dimana *flyback converter* berfungsi sebagai penegas sinyal kotak yang dihasilkan. Sedangkan osilator pulsa berfungsi untuk menghasilkan sinyal kotak.

b. Regulator Tegangan

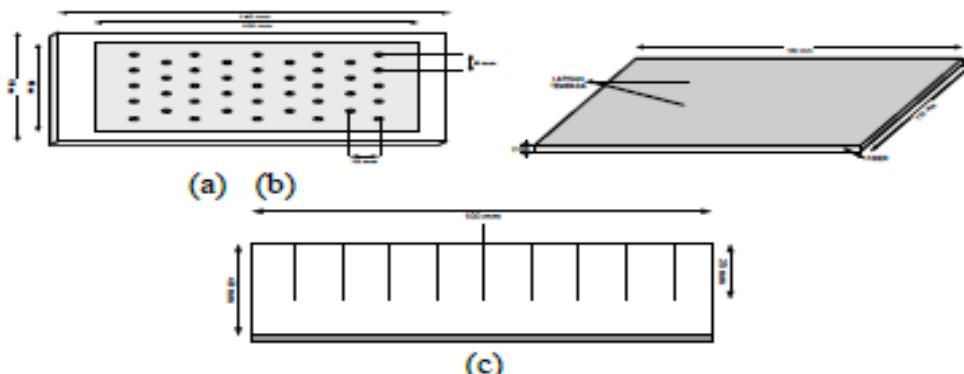
Regulator tegangan berfungsi untuk suplai tegangan searah (DC) ke *trafo flyback*.

c. Penyearah (*Rectifier*)

Penyearah (*Rectifier*) berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Pada alat pembangkit tegangan tinggi impuls ini, penyearah berfungsi sebagai penyedia suplai tegangan DC untuk rangkaian osilator pulsa dan kipas angin.

2.2 Reaktor Plasma Lucutan Korona Pengolah Limbah Cair

Reaktor plasma lucutan korona pengolah limbah cair industri minuman ringan menggunakan konfigurasi elektroda jarum-bidang (*needle to plate electrode*) yang diberi jarak sela udara. Bentuk dan gambar elektroda pada reaktor plasma lucutan korona ini dapat dilihat pada gambar 3[2] berikut ini :

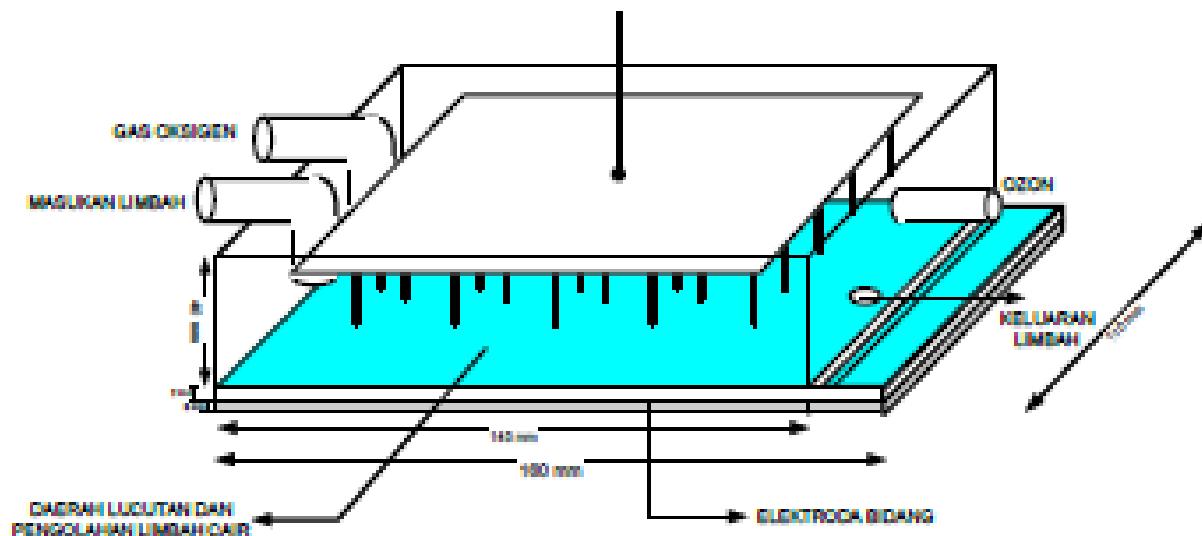


Gambar 3. Konfigurasi elektroda reaktor plasma lucutan korona

(a) Elektroda positif/jarum (b) Elektroda negatif/bidang (c) Bentuk elektroda tampak dari samping [2].

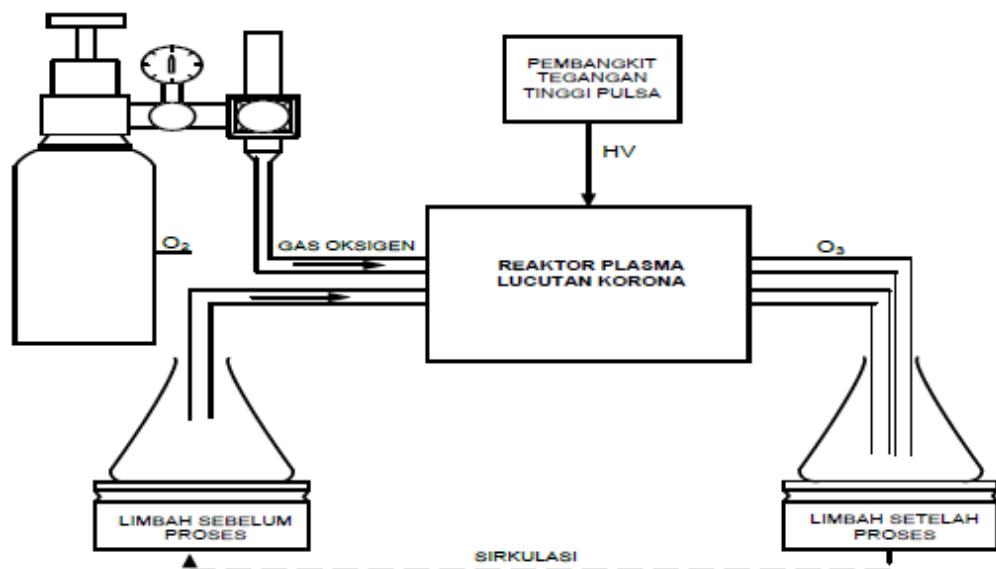
Jarum yang digunakan sebagai elektroda positif terbuat dari kawat tembaga dengan diameter 15 mm dan panjang 25 mm yang masing-masing dipisahkan dengan jarak 8 mm dan 10 mm. Sedangkan untuk elektroda negatif yang berupa bidang terbuat dari bahan tembaga dengan panjang 160 mm dan lebar 110 mm. Antara elektroda jarum dan bidang diberikan sela udara dengan jarak 15 mm yang berfungsi sebagai daerah lucutan korona, aliran gas oksigen dan limbah cair industri minuman ringan.

Skematik reaktor plasma lucutan korona pengolah limbah cair industri minuman ringan dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini :



Gambar 4. Reaktor plasma lucutan korona elektroda jarum-bidang [2].

Secara lengkap skema peralatan ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini :



Gambar 5. Skema reaktor plasma lucutan korona pengolahan limbah cair [2].

2.3 Pembahasan hasil

Pada penelitian ini digunakan plasma lucutan korona untuk pengolahan limbah cair industri minuman. Plasma lucutan korona terdapat pada elektroda jarum-bidang dalam reaktor plasma. Limbah cair industri minuman dikenai plasma lucutan korona dengan tegangan tinggi pada dua buah elektroda (elektroda jarum-bidang) yang dihadapkan dengan jarak tertentu dan juga dialiri dengan gas oksigen. Prinsip kerja dari pengolahan limbah cair industri minuman menggunakan plasma lucutan korona adalah dengan pengaliran gas O₂ yang diberi tegangan tinggi sehingga menghasilkan plasma lucutan korona yang kemudian akan digunakan untuk mensterilisasi limbah cair industri minuman. [6]. Pengolahan limbah cair industri minuman dengan menggunakan plasma lucutan korona ini didapatkan hasil yaitu :

Tabel 1. Hasil analisa karakteristik awal sampel limbah cair industri minuman ringan [2].

No	Parameter Analisa	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa Awal	Perlu Pengolahan
1	pH		6,0-9,0	8,00	Tidak
2	COD	mg/L	300	6715,60	Ya
3	TSS	mg/L	90	7320,23	Ya
4	Minyak dan Lemak	mg/L	9	3,44	Tidak
5	Warna	PtCo	-	10025,00	Ya

Tabel 2. Data hasil karakteristik akhir sampel limbah cair industri minuman ringan [2].

V	Parameter	Nilai pH, COD (mg/L), TSS (mg/L) dan Warna (PtCo)						
		Sirkulasi ke-0	Sirkulasi ke-1	Sirkulasi ke-2	Sirkulasi ke-3	Sirkulasi ke-4	Sirkulasi ke-5	Sirkulasi ke-6
16 kV	pH	8,00	7,60	7,40	7,00	7,20	7,00	7,00
	COD	6715,60	4690,12	3930,90	2113,15	1079,67	678,90	226,89
	TSS	7320,23	4880,20	4008,13	2380,36	1124,59	688,90	267,89
	Warna	10025,00	8135,00	5070,00	2725,00	1105,00	855,00	390,00
17 kV	pH	8,00	7,00	7,80	7,70	7,00	7,00	7,20
	COD	6715,60	4413,30	3128,85	2010,43	1097,37	442,78	145,89
	TSS	7320,23	4560,10	3345,67	2109,80	1125,44	565,78	167,56
	Warna	10025,00	7805,00	5605,00	2140,00	1005,00	740,00	215,00
18 kV	pH	8,00	7,00	7,20	7,00	7,40	7,00	7,00
	COD	6715,60	4007,55	2960,90	1800,85	987,80	220,13	85,80
	TSS	7320,23	4112,12	3076,90	1877,33	1004,17	269,95	98,12
	Warna	10025,00	3080,00	2245,00	1580,00	990,00	385,00	95,00

Dari hasil analisa karakteristik awal dan data hasil karakteristik akhir sampel limbah cair industri minuman, dapat dibandingkan yaitu pada tabel 1 terlihat bahwa COD, TSS dan warna

dari limbah cair industri minuman perlu dilakukan pengolahan. Setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan plasma lucutan korona elektroda jarum-bidang, variasi tegangan (16kV, 17kV dan 18 kV) serta variasi sirkulasi (sirkulasi ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, ke-5, ke-6) dengan menggunakan *flowrate* gas oksigen murni 0,5 L/menit serta kecepatan aliran limbah cair industri minuman pada reaktor 20 ml/menit, didapatkan nilai COD, TSS dan warna yang lebih rendah dengan hasil optimum pada tegangan 18 kV dengan 6 kali sirkulasi yang terlihat pada tabel 2.

3. Kesimpulan

Teknologi lucutan korona merupakan salah satu jalur alternatif sebagai pengolah limbah cair industri minuman yang cukup efektif. Prinsip kerja dari pengolahan limbah cair industri minuman menggunakan plasma lucutan korona adalah dengan pengaliran gas O₂ yang diberi tegangan tinggi sehingga menghasilkan plasma lucutan korona yang kemudian digunakan untuk mensterilisasi limbah cair industri minuman. Semakin besar tegangan tinggi yang diterapkan maka plasma lucutan korona yang dihasilkan semakin panjang dan besar filamen lucutannya. Peningkatan tegangan yang diberikan akan sebanding dengan penurunan persentase kadar COD, TSS dan warna limbah cair industri minuman.

Referensi

- [1] Tjin-Swan, O. & Hadi, S., 2014, Desain Instalasi Pengolah Air Limbah Industri Minuman The Dengan Menggunakan Sistem Aerobik. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder* **1**, 2.
- [2] Arifin, F., Warsito, A., & Abdul, S., 2015, Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan Dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona. *Thesis*, Universitas Diponegoro.
- [3] Sumariyah, T., Agung, & Nur. M., 2004, Rancang Bangun Sistem Pembangkit Plasma Lucutan Pijar Korona Dengan Sistem Pengapian Mobil Termodifikasi Untuk Pereduksian Co_x. *Berkala Fisika* **7**, 2.
- [4] Waluyo, S., Nugraha, S., & Yudhi, P. J. R., 2015, Rancangan Awal Prototipe Miniatur Pembangkit Tegangan Tinggi Searah Tiga Tingkat Dengan Modifikasi Rangkaian Pengali Cockcroft-Walton. *Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.
- [5] Teke, S., Nur, M., & Tri, A. W., 2014, Produksi Ozon Dalam Reaktor Dielectric Barrier Discharge Plasma (Dbdp) Terkait Serta Pemanfaatannya Untuk Menjaga Kualitas Asam Amino Ikan. *Berkala Fisika* **17**, 1.
- [6] Amril, H., 2016, Teknologi Plasma Untuk Pengolahan Air. *Conference Paper*, Institut Teknologi Bandung.



9 772541 108002

Published by:
Sebelas Maret University

ISSN: 2541-108X