

PENGARUH TEKANAN VAKUM PADA PROSES DESALINASI AIR LAUT MENGUNAKAN TENAGA SURYA TIPE KOLEKTOR TABUNG VAKUM

EFFECT OF VACUUM PRESSURE IN SOLAR DESALINATION OF SEA WATER USING EVACUATED TUBE COLLECTOR

Sari Farah Dina¹, Jufrizal², Azwardi¹, Mighrad Syahputra²

¹Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan, Jl. Sisingamangaraja No. 24 Medan

²Program Studi Teknik Mesin - Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Medan, Jl. Gedung
Arca no. 52 Medan

e-mail : sfdina1@yahoo.com,

Diterima : Juni 2017; revisi akhir Oktober 2017 dan di setujui untuk diterbitkan: November 2017

ABSTRAK

Studi dan teknik desalinasi air laut menggunakan energi panas matahari untuk mendapatkan kondensat yang bisa digunakan sebagai air bersih telah dilakukan. Prinsip distilasi adalah pemisahan dengan memanaskan air laut dalam bak (*evaporator*) dengan tekanan yang divariasi lebih rendah dari 1 atm (*vakum*) sehingga menghasilkan titik didih lebih rendah dari 100C. Selanjutnya uap air (*desalinated vapor*) dikondensasikan untuk menghasilkan air bersih. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji kinerja pengumpul tabung evakuasi sebagai generator energi panas untuk memanaskan dan menguapkan air laut dengan kapasitas 20 liter. Selama pengujian, tekanan pada evaporator bervariasi pada tekanan -35 cmHg, -50 cmHg, dan -65 cmHg. Uji coba dilakukan antara pukul 09.00 sampai 17.00 WIB dengan rangkap tiga. Radiasi matahari berada pada kisaran 120-988 Watt / m². Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi terbaik dicapai pada perlakuan tekanan -65 cmHg dimana laju penguapan 333 ml / jam dan efisiensi adalah 10%.

Kata Kunci: Air laut, desalinasi surya, vakum

ABSTRACT

The study and engineering of sea water desalination using solar thermal energy to obtain condensate which can be used as clean water has been done. The principle of the distillation is separation by heating seawater in a tub (*evaporator*) with pressure which are varied lower than 1 atm (*vacuum*) so that produce a boiling point lower than 100C. Furthermore, water vapor (*desalinated vapor*) is condensed to produce clean water. The purpose of this research is to test the performance of evacuated tube collector as a thermal energy generator to heat and evaporate seawater at 20 litres of capacity. During the test the pressure in the evaporator varied at a pressure of -35 cmHg, -50 cmHg, and -65 cmHg. The trials were conducted between 09.00 a.m to 17.00 p.m WIT by triplicates. Solar radiation are in range of 120-988 Watt/m². The results showed that the best conditions achieved at the pressure treatment -65 cmHg where the evaporation rate of 333 ml/h and efficiency is 10%.

Keywords: Sea water, solar desalination, vacuum

PENDAHULUAN

Air adalah salah satu sumber daya yang sangat penting bagi kehidupan. Dari sisi kuantitas, air di bumi sangat melimpah, yang meliputi tiga perempat dari permukaan bumi. Namun, sekitar 97% adalah air asin di lautan, dan sisanya 3% adalah air tawar yang terdapat di kutub dalam bentuk es, air

tanah, danau dan sungai. Hampir 70% dari air tawar

yang ada dijumpai dalam fasa beku di gletser, salju permanen, es dan permafrost. Tiga puluh persen sisa dari semua air tawar ini berupa air bawah tanah yang sebagian besar dalam dan sulit dijangkau akuifer [Kalogirou, 2005].

Desalinasi air laut merupakan suatu proses pengolahan air laut menjadi air tawar dengan hasil samping berupa konsentrat garam. Kedua produk hasil desalinasi ini merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan manusia.

Proses desalinasi memerlukan energi yang intensif dan dapat diberikan dalam berbagai bentuk seperti: listrik, mekanik atau termal [Garzia et. al., 2002]. Ditinjau dari teknik pengolahannya, proses desalinasi terbagi menjadi dua kategori: osmosis terbalik (*reverse osmosis*) dan distilasi termal konvensional (*conventional thermal distillation*). Distilasi termal konvensional memerlukan banyak biaya dan energi untuk menyempurnakan siklus desalinasinya, sedangkan teknologi osmosis terbalik melalui membran penyaring, suatu solusi yang lebih menghemat energi. Namun kedua metode ini membutuhkan biaya produksi masih cukup tinggi yakni antara 3–25,5 kWh/m³ [Anonim, 2013].

Sebagai negara yang terletak di daerah katulistiwa, yaitu pada 6°LU – 11°LS dan 95°BT – 141°BT, dan dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun yang berada pada daerah 23,5°LU dan 23,5°LS sehingga suhu di Indonesia cukup tinggi yakni antara 26–35°C. Jika cuaca cerah maka akan disinari matahari selama 11-12 jam dalam sehari. Potensi energi surya rata-rata Nasional adalah 16 MJ/hari. Oleh karenanya, potensi energi terbarukan ini layak dioptimalkan dalam berbagai aspek yang memerlukan energi termal maupun listrik.

Pemanfaatan teknologi terbarukan yang tepat diaplikasikan pada desalinasi telah dilakukan [Anonim, 2012]. Penelitian yang mengkombinasikan energi termal surya dengan bentuk energi ataupun metode lain telah mampu menurunkan konsumsi energi, namun pada pengoperasinya terutama pada daerah remot sulit diterapkan karena memerlukan tenaga operator dengan keahlian khusus [Gudeet. al., 2008].

Sejumlah besar panas yang dihasilkan melalui teknologi surya termal untuk desalinasi telah dilakukan dan

menyimpulkan bahwa secara teknis dan ekonomis dapat menjadi kompetitif jika kapasitas desalinasi maksimum 10m³/hari [Veera et. al., 2010].

Penelitian awal proses desalinasi tenaga surya menggunakan kondisi vakum dapat memberikan keuntungan dimana proses penguapan dapat berlangsung pada temperatur dibawah 100°C. Hasil penelitian desalinasi air menggunakan panas matahari intensitas rendah ini telah mampu menghasilkan 6,5 kg/hari/m² luas evaporator [Al-Kharabsheh S et.al., 2003].

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan proses desalinasi tenaga surya menggunakan kolektor tabung vakum (*evacuated tube collector*) dan proses evaporasi berlangsung pada kondisi vakum (-35, -50 dan -65 cmHg). Dengan kondisi vakum maka proses penguapan berlangsung dibawah 100°C.

Energi yang sampai pada kolektor Pemanas Air Tenaga Surya

Energi yang sampai pada kolektor atau energi yang berguna untuk memanaskan dan menguapkan air laut, menurut Incropera adalah energi radiasi yang akan diterima kolektor tabung vakum. Jumlah energi radiasi persatuan luas yang diterima kolektor disebut $Q_{incident}$. Besarnya $Q_{incident}$ dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$Q_{incident} = A \int_1^2 I dt \quad (1)$$

dimana:

A adalah luas penampang dari kolektor/absorber, m²

I Intensitas radiasi, W/m²

Energi yang diserap untuk menguapkan air laut

$$Q_u = m_{al} C_{gr} (T_2 - T_1) + m_k h_{fg} \quad (2)$$

dimana:

m_{al} adalah massa air laut, kg

C_{gr} panas jenis dari air garam, J/kg.°C

T_1 temperatur awal air laut sebelum dipanaskan, °C

T_2 temperatur aktual air laut setelah dipanaskan, °C

m_k massa kondensat, kg

h_{fg} panas laten penguapan
(J/kg.°C)

Efisiensi Desalinasi

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{incident}} \times 100\% \quad (3)$$

Perhitungan Laju Penguapan

Perhitungan laju penguapan dapat dihitung setelah diketahui selisih beda tinggi air laut selama proses penguapan berlangsung. Laju penguapan dihitung menggunakan rumus Toledo dimana,

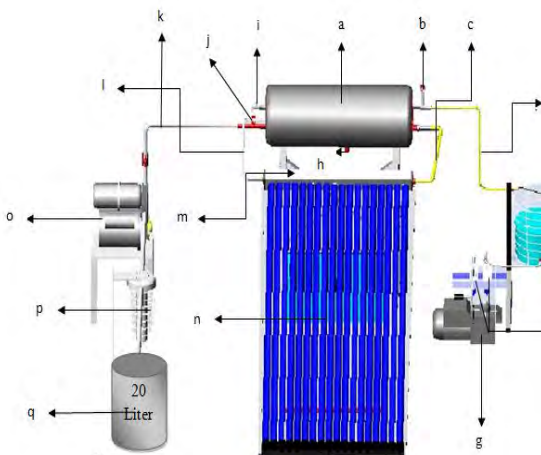
$$W = \frac{m_w}{t} \quad (4)$$

dimana:

- W adalah laju penguapan, mL/jam
- m_w jumlah kondensat, mL
- t waktu, jam

METODE PENELITIAN

Desain Alat



Gambar 1. Alat Desalinasi Tenaga Surya

Experimental Setup

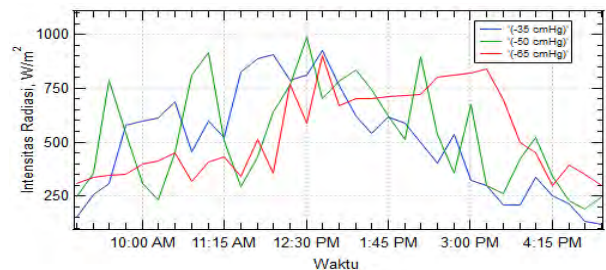
Tahapan *experimental setup* yang dilakukan antara lain: Proses desalinasi dimulai dengan memompakan air laut kedalam *storage tank* (*evaporator*). sebanyak 20 liter. Selanjutnya ruangan *storage tank* divakumkan dengan variasi pemvakuman -35, -50, dan -65 cmHg. Kabel-kabel termokopel dipasang-kan ke termometer digital dan kemudian sisi termokopel lainnya dihubungkan ke posisi air laut sebelum dipanaskan (T_1), air laut didalam *storage tank* (T_2),

kondensat (T_3), dan lingkungan (T_4), dimulai dari pukul 09:00 s.d. 17:00 WB untuk memperoleh data temperatur dengan *interval* waktu pengukuran setiap 15 menit selama proses desalinasi berlangsung. *Solar power meter* untuk mengukur intensitas radiasi di-on kan selama pengujian dengan *interval* waktu pengukuran setiap 15 menit. Laju kondensasi air bersihkeluar dari kondensor diukur menggunakan gelas ukur setiap 120 menit. Setelah selesai pengujian data dikumpulkan dan disimpan dalam komputer untuk diolah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

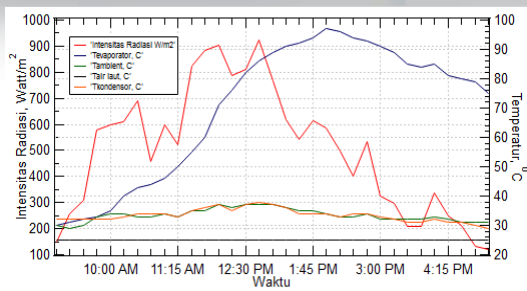
Profil Intensitas Radiasi Selama Pengujian pada Berbagai Variasi Tekanan Vakum

Dari hasil pengukuran intensitas radiasi matahari selama uji coba yakni dari jam 9:00 sampai dengan jam 17:00, dapat dilihat pada Gambar 2. Intentesitas radiasi terendah adalah 120 Watt/m² (jam 17:00) pada variasi tekanan vakum -35 cmHg dan tertinggi adalah 988 Watt/m² (jam 12:30) pada variasi tekanan vakum -50 cmHg. Kondisi cuaca yang ekstrim ini menghasilkan intensitas rata-rata hanya mencapai 537 - 502 Watt/m². Besarnya intensi-tas radiasi ini akan berpengaruh padasistem konversi energi termal yang diterima kolektor surya untuk memanaskan dan menguapkan air laut.



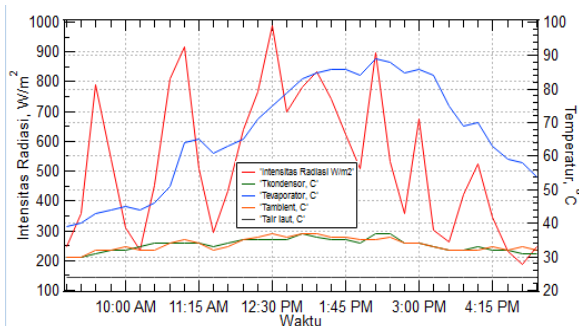
Gambar 2. Intensitas Radiasi Selama Pengujian pada Berbagai Variasi Tekanan Vakum

Profil Temperatur (Air Laut, Evaporator, Kondensat dan Ambient) Pada Tekanan -35 cmHg (0,47 bar

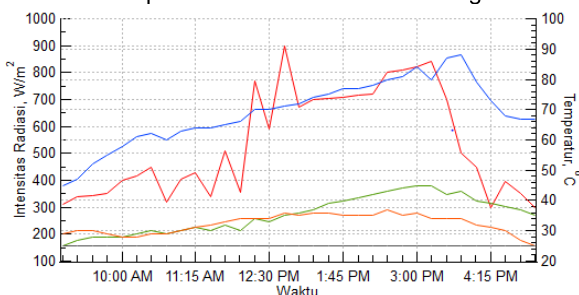


Gambar 3. Profil Intensitas Radiasi dan Temperatur Pada Tekanan -35 cmHg

Berdasarkan Gambar 3, 4 dan 5 dapat dilihat bahwa selama percobaan berlangsung suhu udara (*ambient*) kota Medan berada pada rentang 32 –34°C dengan intensitas radiasi yang bervariasi karena sangat dipengaruhi oleh cuaca (awan). Namun dari ketiga variasi tekanan vakum, maka nilai tertinggi terjadi pada saat uji coba tekanan vakum -65 cmHg. Dilihat dari profil temperatur evaporator yang mengindikasikan terjadinya penguapan air laut menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan vakum yang diberikan, maka semakin rendah temperatur evaporasi



Gambar 4. Profil Intensitas Radiasi dan Temperatur Pada Tekanan -50cmHg



Gambar 5. Profil Intensitas Radiasi dan Temperatur Pada Tekanan -65cmHg

Dengan demikian penguapan berlangsung pada temperatur lebih rendah dari titik uap jika kondisi

atmosferik (1 atm). Dengan adanya kondisi vakum, maka penguapan dapat berlangsung pada intensitas radiasi tidak optimal. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 3,4 dan 5 dimana selama percobaan intensitas radiasi rata-rata adalah 502–537 W/m².

Laju Penguapan

Dengan menggunakan persamaan 4 dan dari volume kondensat yang ditampung maka laju kondensasi pada desalinasi air laut dapat dilihat pada Tabel 1. Semakin tinggi tekanan vakum, maka temperatur penguapan semakin rendah, sehingga panas sensible dan panas laten yang dibutuhkan juga akan semakin rendah sehingga volume kondensat semakin besar.

Tabel 1. Laju Kondensasi Selama Percobaan

Pengujian	Tekanan Vakum, cmHg	Air Bersih Yang Dihasilkan, mL	Waktu, jam	Laju Kondensasi, mL/jam		
1	-35	790	9	88		
2		830		92		
3		390		43		
1	-50	1570		9	174	
2		1250			139	
3		1305			145	
1	-65	3000			9	333
2		1600				178
3		1810				201

Efisiensi Alat Desalinasi

Efisiensi dihitung menggunakan persamaan 1, 2 dan 3 dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Efisiensi Alat Desalinasi

Pengujian	Tekanan Vakum, cmHg	Waktu, jam	Efisiensi, %		
1	-35	9	5		
2			5		
3			3		
1	-50		9	6	
2				6	
3				7	
1	-65			9	10
2					9
3					10

Secara umum, semakin tinggi tekanan vakum maka efisiensi alat semakin besar. Hal ini dapat difahami karena tekanan vakum berkorelasi positif terhadap tekanan vakum. Namun secara teknis, nilai ini masih cukup rendah dikarenakan masih adanya kebocoran

sehingga sulit mempertahankan kondisi vakum yang telah ditetapkan untuk setiap variasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan desalinasi yang berlangsung dari jam 09:00 sampai dengan 17:00 dapat disimpulkan bahwa:

1. Selama percobaan kondisi cuaca rata-rata kota Medan adalah: temperatur ambien 32–34 °C, intensitas radiasi 502-537 Watt/m².
2. Dengan divariasikannya tekanan vakum, semakin tinggi tekanan vakum maka temperatur evaporasi akan semakin rendah dan laju kondensasi semakin tinggi
3. Semakin tinggi tekanan vakum maka energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu (panas *sensible*) dan energi untuk penguapan (panas laten) air laut akan lebih rendah sehingga efisiensi dapat meningkat.

Saran

1. Perlu dilengkapi alat deteksi kebocoran sehingga tekanan vakum lebih stabil.
2. Dapat dicoba variasi tekanan vakum yang lebih tinggi lagi untuk meningkatkan laju kondensasi.
3. Air laut yang digunakan sebaiknya diambil dari sumber air laut minimal 200 meter dari garis pantai untuk meminimisasi kadar padatan terlarut dan tersuspensi

DAFTAR PUSTAKA

- Kalogirou S.A., 2005, Seawater desalination using renewable energy sources, *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 31, pp: 242–281.
- Garzia-Rodriguez L., et al., 2002, Comparison of Solar Technologies for Applications in Seawater Desalination, *Desalination* Vol. 142, pp: 135 – 142.
- Anonim, 2013, Energy Requirements of Desalination Processes, *Encyclopedia of Desalination and Water Resources (DESWARE)*, retrieved on June 24th.
- Anonim, 2012, Water Desalination Using Renewable Energy, IRENA Technology Brief 112 – <http://www.irena.org>, tanggal akses 19 Desember 2015.
- Gude V.G., Nirmalakhandan N., 2008, Combined desalination and solar-assisted air-conditioning system, *Energy Conversion and Management*, vol: 49, pp: 3326–3330.
- Veera G.G., Nagamany N., 2010, Sustainable desalination using solar energy, *Energy Conversion Management*, Vol: 51, pp: 22–45–2251.
- Jhon A. Duffie, William A. Beckman, (2006), *Solar Engineering Of Thermal Processes*, Printed in the United States Of America
- Ketut Astawa, dkk. 2011 Analisa Performansi Destilasi Air Laut Tenaga Surya Menggunakan Penyerap Radiasi Surya Tipe Bergelombang Berbahan Dasar Beton, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* _____ Vol. 5 No.1. April 2011 (7-13)_Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- Mehmet Esent, Hikmet Hesent, (2005), *Experimental Investigation Of A Two Phase Closed Thermosyphon Solar Water Heater*, *Solar Energy* 79 (2005) 459-468.
- Sayign AAM. 1997, *Solar Energy Engineering*. New York, San Francisco, London: Academic Press.
- Yunus A. Cengel. (2002). *Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition*. Mc Graw-Hill, Book Company, Inc : Singapore

Analisis XRD juga dibutuhkan untuk memastikan struktur SiO_2 yang terkandung di dalam *fly ash*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberty, R., A and Daniels, F. 1983. *Physical Chemistry*. New York : John Willey and Sons.
- Azwardi, 1997. *Pengembangan Teknologi Proses Pemanfaatan Zeolit sebagai Bahan Pemucat*. Proyek Pengembangan dan Pelayanan Teknologi Industri Sumatera Utara. Balai Industri Medan.
- Bernasconi, G. 1995. *Teknologi Kimia*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Dwicahyo, Ari, 2013. *Pemanfaatan Fly ash Batubara sebagai Adsorben dalam Penyisihan COD dari Limbah Cair Domestik Rumah Susun Wonorejo Surabaya*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 4 No. 1, 2013.
- Firdaushanif. 2007. *Pembakaran Batubara*. (http://firdaushanif.multiply.com/journal/item/2/Pembakaran_Batubara) diunduh pada tanggal 14 Oktober 2011.
- Harijono, D. 1993. *Fly ash dan Pemanfaatannya*. Seminar Nasional Batubara Indonesia. Yogyakarta : UGM.
- Koesnadi. 2008. *Fly ash* (<http://herimylife.blogspot.com/2008/06/fly-ash.html>). diunduh pada tanggal 28 Februari 2012.
- Novia, 2010. *Pembuatan Adsorben dari Fly ash Hasil Pembakaran Batubara untuk Mengadsorpsi Logam Besi (Fe)*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
- Purwati S., Rina S. Soetopo, Setiadji, Yusup S., 2006. *Potensi dan Alternatif Pemanfaatan Limbah Padat Industri Pulp dan Kertas*. Berita Selulosa, Volume 41, No. 2, Desember 2006: 68-79.
- Sunardi. 2006. *Batubara dan Pemanfaatannya*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Tanaka, T., Ohyama, T., Maruo, Y.Y., and T. Hayashi. 2002. *Coloration Reaction Between NO_2 and Organic Compound in Porous Glass For Cumulative Gas Sensor*. *Sensors And Actuators B* 47, pp. 65-69.
- Vogel. 1985. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Edisi kelima. Bagian I. PT Kalman Pustaka : Jakarta
- Widiharti, I., A., G. 2008. *Adsorpsi Anion Cr(VI) Oleh Batu Pasir Teraktivasi Asam Dan Tersalut Fe_2O_3* . (<http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/j-kim-vol2-no1-widiharti.pdf>) diunduh pada tanggal 14 Oktober 2011.
- Yuliani Tri Lestari, 2013. *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly ash) Batubara sebagai Adsorben untuk Penentuan Kadar Gas NO_2 di Udara*. Kimia, FMIPA, Universitas Jember.

PANDUAN PENULISAN NASKAH

Jurnal Teknik dan Teknologi (Arial 12 pt Bold)

Penyunting Pelaksana Jurnal Teknik dan Teknologi (Arial 11 Bold)
Pangkat, Baristand Industri Medan, Medan (20219)
e-mail : bind_medan@kemenperin.go.id (Arial 10)

Abstract (Arial 10 Italic bold)

Jurnal Teknik dan Teknologi published by Dept of Industry, Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan is a media for publishing the research papers of technique, technology and related field.

The paper is reviewed by dean redaksi before published. The paper manuscript is initiated by 200 words of abstract and followed by 5 words of keywords. Abstract consists of objectives, method, result and conclusion (Arial 10 pt italic)

Keywords: *technique, technology and related field.*

Pendahuluan (Arial 11 pt bold)

.....(10 mm)

Karya Ilmiah yang akan diterbitkan dapat berupa kertas kerja ilmiah penelitian dan kertas kerja ilmiah bukan penelitian (Laporan studi kasus atau kajian pustaka komprehensif) Kirimkan naskah kertas kepada:

Penyunting pelaksana
Jurnal Teknik dan Teknologi
Balai Riset dan Standardisasi
Industri Medan
Jalan SM. Raja No.24
Medan, Indonesia

Naskah kertas kera yang dikirimkan terdiri dari 2(dua) eksemplar dimanan untuk keperluan evaluasi redaksi, 1 (satu) eksemplar tidak ditulisi nama/instansi penulis. Naskah harus asli dan belum pernah diterbitkan dimedia tulis lain. Naskah yang telah dievaluasi akan dikirimkan kepada penulis utama.

Naskah yang telah diperbaiki diminta untuk dikirimkan kembali sebanyak 2 (dua) eksemplar berikut softkopi . Kertas ilmiah dikehendaki terdiri dari abstrak, pendahuluan, metodologi,

hasil dan pembahasan, kesimpulan dan daftar pustaka. Untuk yang bukan kertas kerja ilmiah sekurang-kurangnya terdiri dari abstrak, pendahuluan, pembahasan, kesimpulan, saran dan daftar pustaka.

Naskah Kertas Kerja

Jumlah Halaman, Ukuran dan Bahasa

Naskah berjumlah 5-6 halaman kertas A4 termasuk gambar dan tabel dengan ukuran huruf Arial 11 pt dan jenis Arial ditulis dalam satu spasi.

Ukuran naskah adalah atas 25 mm, bWh 25 mm, kanan 25mm, antar kolom 8 mm dan nomor halaman di bawah kanan.

The manuscript can be written in Indonesia Language or English.

