

Analisis mobilitas pembawa muatan pada lucutan plasma korona positif konfigurasi kawat silinder menggunakan gas nitrogen

Victor Prima Saputro dan Muhammad Nur

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: victorsaputro@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Research on mobility of charge carriers in positive corona plasma have been done by using a cylindrical wire configuration and nitrogen gas field. Plasma reactor that used in this research is a stainless tube with a length of 24 cm and a diameter of 3.5 cm. The characterization of current and voltage is used to determine the value of charge carrier mobility. This characterization was performed using nitrogen gas field. The voltage variation used was 0-11 kV with an increase interval of 0.3 kV and the flow of Nitrogen flow of 2-6 L / min with an increase interval of 1 L / min. From the research for positive corona obtained the highest charge carrier mobility at flow rate 2 L/minute equal to 0.115 m²/Vs and lowest charge carrier mobility at flow rate 3 L/minute equal to 0.0413 m²/Vs. At flow rate 2 L/minute the mobility between positive and negative corona have significant difference of 0.115 m²/Vs and 0.459 m²/Vs then decreased until finally at the gas flow rate 6 L/minute of positive coronas and negative corona have equal charge carrier mobility of 0.093 m²/Vs.

Keywords: *Plasma corona, characteristic current-voltage, the mobility of the charge-carriers, voltage, current*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai mobilitas pembawa muatan pada lucutan plasma korona positif dengan menggunakan konfigurasi kawat silinder dan isian gas nitrogen. Reaktor plasma yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung silinder berbahan stainless dengan panjang 24 cm dan diameter sebesar 3,5 cm. Karakterisasi arus dan tegangan digunakan untuk mengetahui nilai mobilitas pembawa muatan. Karakterisasi ini dilakukan dengan menggunakan isian gas nitrogen. Variasi tegangan yang digunakan yaitu 0 kV sampai 11 kV dengan interval kenaikan setiap 0,3 kV dan debit alir gas Nitrogen 2 L/menit sampai 6 L/menit dengan interval kenaikan 1 L/menit. Dari hasil penelitian untuk lucutan plasma korona positif diperoleh mobilitas pembawa muatan tertinggi pada debit alir 2 L/menit sebesar 0,115 m²/Vs dan mobilitas pembawa muatan terendah pada debit alir 3 L/menit sebesar 0,0413 m²/Vs. Dari hasil ini dapat dibandingkan dengan mobilitas pembawa muatan lucutan plasma korona negatif. Pada debit alir gas 2 L/menit mobilitas antara korona positif dan negatif mengalami perbedaan yang cukup signifikan yakni sebesar 0,115 m²/Vs dan 0,459 m²/Vs lalu mengalami penurunan sampai akhirnya pada debit alir gas 6 L/menit korona positif dan korona negatif memiliki mobilitas pembawa muatan yang sama yakni sebesar 0,093 m²/Vs.

Kata kunci: *Plasma lucutan korona, karakterisasi arus dan tegangan, mobilitas pembawa muatan, tegangan, arus*

PENDAHULUAN

Penelitian mengenai plasma korona telah banyak dilakukan dan menjadi salah satu kajian yang menarik di bidang ilmu pengetahuan. Salah satunya adalah penelitian mengenai pengujian plasma lucutan pijar korona pada bakteri *E. coli* yang telah dilakukan oleh [1]. Selain itu, aplikasi plasma korona juga digunakan di dalam dunia pertanian. Sebelumnya telah dilakukan penelitian

mengenai pemanfaatan radiasi plasma korona untuk pengayaan kadar nitrogen pada kompos tandan kosong sawit. Penambahan ion N^+ dilakukan dengan memberikan radiasi plasma pada kompos dari tandan kosong sawit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kompos yang diradiasi setiap 10 menit, mulai 10 menit hingga 100 menit memberikan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan kompos yang tidak diberikan radiasi plasma, pada kompos yang diberikan radiasi

mengalami kenaikan kandungan nitrogen sebesar 300% [2].

Penelitian terbaru mengenai pemanfaatan plasma lucutan pijar korona sebagai pupuk alternatif pada kultur *Chlorella vulgaris* B. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa setelah diberikan radiasi plasma didapatkan pertumbuhan populasi *Chlorella vulgaris* lebih tinggi bila dibandingkan dengan media air tanpa perlakuan penambahan pupuk. Pertumbuhan dengan plasma meningkatkan laju pertumbuhan populasi [3].

Meskipun penelitian mengenai plasma korona telah banyak dilakukan, kebanyakan tidak membahas lebih detail mengenai peristiwa-peristiwa yang terjadi pada saat kondisi plasma korona, dalam hal ini adalah mobilitas pembawa muatan.

Permasalahan tersebut mendasari peneliti untuk lebih mengkaji peristiwa mikroskopik yang terjadi pada kondisi plasma korona. Dalam penelitian ini akan dilakukan penentuan nilai mobilitas pembawa muatan dengan sumber gas nitrogen pada korona positif. Selain itu, juga untuk mendapatkan karakteristik arus terhadap tegangan pada reaktor plasma korona.

DASAR TEORI

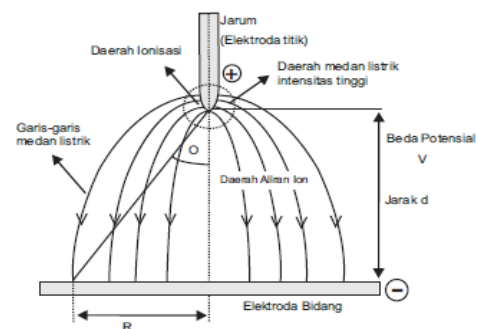
Plasma

Konsep mengenai plasma kali pertama ditemukan oleh Irvin Langmuir dan Lewi Tonks pada tahun 1928. Mereka mendefinisikan plasma sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik. Peristiwa ionisasi adalah terlepasnya elektron suatu atom dari ikatannya. Selain itu, plasma juga dapat didefinisikan sebagai percampuran kuasinetral dari elektron, radikal, ion positif dan negatif. Percampuran antara ion-ion yang bermuatan positif dengan elektron-elektron yang bermuatan negatif memiliki sifat-sifat yang sangat berbeda dengan gas, maka plasma dapat dikategorikan sebagai fase materi keempat setelah fase padat, cair, dan gas [4].

Plasma Korona

Lucutan korona merupakan proses pembangkitan arus di dalam fluida netral di antara dua elektrode bertegangan tinggi dengan mengionisasi fluida tersebut, sehingga membentuk plasma di sekitar salah satu elektrode dan menggunakan ion yang dihasilkan dalam proses tersebut sebagai pembawa muatan menuju elektrode lainnya.

Ada tiga tahapan yang terjadi pada lucutan pijar korona dalam medan listrik. Lucutan yang pertama terjadi adalah lucutan *Townsend* lalu diikuti oleh lucutan pijar (*glow discharge*) atau korona (*corona discharge*) dan diakhiri dengan lucutan *arc*. Pasangan elektrode yang tidak simetris dapat digunakan untuk membangkitkan lucutan korona. Pasangan elektrode tersebut akan membangkitkan lucutan di dalam daerah dengan medan listrik tinggi di sekitar elektrode yang memiliki bentuk geometri lebih runcing dibanding elektrode lainnya (sesuai Gambar 1) [5].



Gambar 1 Daerah ionisasi dan daerah aliran

Ada tiga jenis elektrode yang biasanya digunakan, yakni elektrode yang berupa titik-bidang (*point-to-plane*), titik-ruang (*point-to-grade*), dan elektrode kawat silinder [6].

Dalam lucutan korona sering juga disebut plasma lucutan pijar korona. Plasma lucutan pijar korona yang terjadi dapat disebut korona positif atau korona negatif. Jenis lucutan korona ini ditentukan oleh polaritas tegangan yang diberikan pada elektrode aktif. Plasma lucutan pijar korona positif dapat dibentuk dengan

memberikan polaritas positif pada elektrode titik (*point*). Elektron-elektron yang bergerak dari katode menuju anode akan dapat mengionisasi atom-atom atau molekul gas diantara elektrode. Ionisasi terjadi di sekitar elektrode titik, karena pengaruh medan listrik ion-ion hasil ionisasi akan mengalir atau bergerak menuju katode melalui daerah aliran (*drift region*). Aliran ion-ion ini akan menimbulkan arus ion yang disebut arus saturasi unipolar [4].

Mobilitas Rerata Pembawa Muatan

Karakteristik I - V dan mobilitas pembawa muatan dalam setiap reaktor plasma dapat dilakukan karakterisasi hubungan arus dengan tegangan. Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk menentukan karakteristik I - V tersebut, baik teoritik maupun eksperimen [7]. Perumusan Robinson secara teoritik dinyatakan dalam persamaan 1 berikut.

$$I_s = \frac{2\mu\epsilon_1}{d} (V - V_i)^2 \quad (1)$$

dengan I_s merupakan besar arus saturasi unipolar dalam mA, μ nilai mobilitas ion dalam $\text{cm}^2/\text{Volt}\cdot\text{second}$, ϵ_1 merupakan nilai permitivitas, V tegangan operasi, dan V_i tegangan ambang korona dalam volt [8]. Dengan perumusan robinson dapat di modifikasi menjadi persamaan

$$I_s = \frac{2\mu\epsilon_1 S}{d^3} (V - V_i)^2 \quad (2)$$

dengan S adalah luas permukaan elektrode pasif dalam cm dan d adalah jarak antar elektrode dalam cm. Dalam penelitian medium yang digunakan adalah gas nitrogen dengan didekati permitivitas vakum atau udara. Jika di antara elektrode pasif dan elektrode aktif dipisahkan beberapa material, misalnya udara atau gas, cairan dan padat yang merupakan bahan dielektrik dengan masing-masing permitivitas dielektrik adalah ϵ_1 untuk bahan 1, ϵ_2 untuk bahan 2, dan ϵ_3 untuk bahan 3, maka hubungan antara I_s dengan V mengikuti persamaan [9].

$$I_s = \frac{2S\mu_{RT}\epsilon}{d^3} (V - V_i)^2 \quad (3)$$

Dengan menggunakan rumus Robinson termodifikasi tersebut, mobilitas rerata pembawa muatan dalam plasma yang dihasilkan oleh reaktor lucutan berpenghalang dielektrik dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\sqrt{I_s} = \sqrt{\frac{2S\mu_{RT}\epsilon}{d^3}} V \quad (4)$$

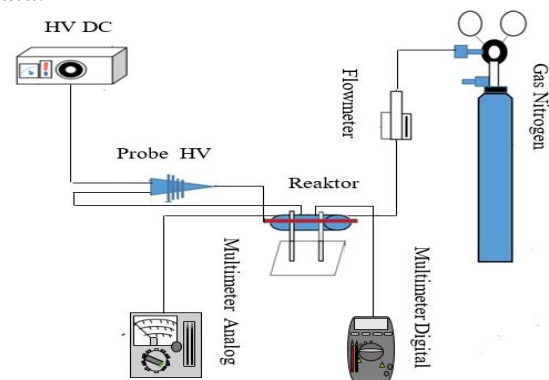
$$C = \sqrt{\frac{2S\mu_{RT}\epsilon}{d^3}} \quad (5)$$

$$\mu_{RT} = \frac{C^2 d^3}{2S\epsilon} \quad (6)$$

dengan ϵ adalah permitivitas total bahan (F/m).

METODE PENELITIAN

Gambar 2 menunjukkan skema rangkaian alat yang digunakan dalam penelitian ini. Reaktor plasma korona yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor konfigurasi kawat silinder. Tegangan tinggi disediakan oleh pembangkit tegangan tinggi DC yang dipasangkan dengan HV probe untuk menurunkan orde tegangan supaya terbaca pada osiloskop. Penelitian tentang analisis mobilitas pembawa muatan pada lucutan korona positif konfigurasi kawat silinder akan dilakukan dengan melalui 4 tahapan. Tahap pertama adalah perakitan reaktor plasma konfigurasi kawat silinder, karakterisasi arus dan tegangan, menghitung nilai mobilitas ion, dan analisis data.



Gambar 2 Skema Rangkaian Alat

Karakterisasi Arus dan Tegangan

Karakterisasi arus dan tegangan dilakukan tanpa menggunakan sampel. Pengukuran nilai arus menggunakan multimeter, sedangkan nilai tegangan diukur dengan menggunakan voltmeter yang terhubung dengan HV probe. Karakterisasi ini dilakukan dengan memberi variasi pada aliran gas nitrogen. Variasi aliran gas yang digunakan yaitu 2 L, 3 L, 4 L, 5 L, dan 6 L. Pengukuran nilai tegangan dimulai pada saat tegangan 0 kV sampai batas maksimum yang dicapai hingga lucutan korona terjadi.

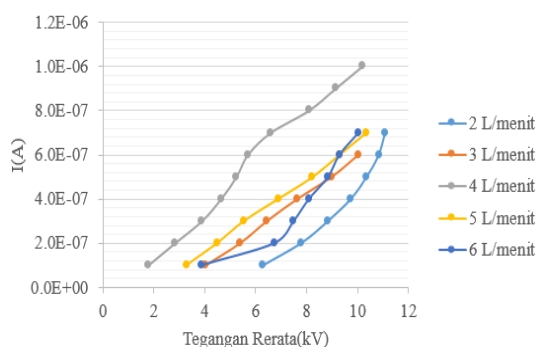
Menentukan Nilai Mobilitas Pembawa Muatan

Dalam penelitian ini akan dibahas teknik penentuan mobilitas beberapa jenis ion, salah satunya ion N^+ . Untuk menentukan mobilitas ion tersebut terlebih dahulu akan dibahas pendekatan Robinson. Mobilitas rerata pembawa muatan dapat ditentukan menggunakan persamaan (6) dengan C adalah konstanta yang diperoleh dari persamaan (5) yang tidak lain adalah gradien grafik linier persamaan (4).

HASIL DAN PEMBAHASAN

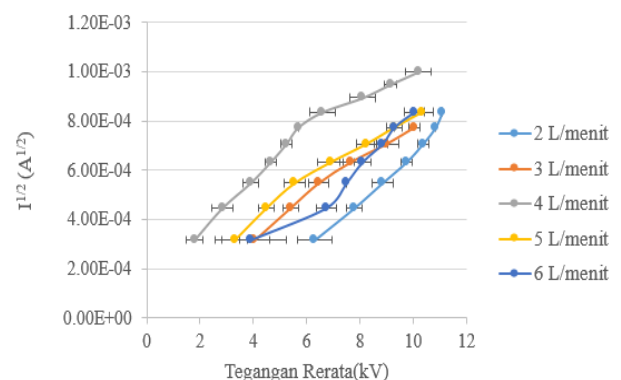
Karakteristik Arus dan Tegangan

Hasil karakteristik arus dan tegangan ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Grafik arus-tegangan debit aliran gas nitrogen untuk beberapa debit aliran

Gambar 3 merupakan satu grafik hubungan antara arus dan tegangan rerata yang mencakup semua debit aliran gas nitrogen. Dari gambar tersebut terlihat bahwa arus akan mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan tegangan. Peningkatan besar arus akan sebanding dengan besar tegangan dikarenakan peran pelipatgandaan elektron saat timbul lucutan plasma dengan elektron akan bergerak dari elektrode aktif yang terakumulasi pada waktu yang bersamaan sehingga terjadi interaksi antara muatan listrik dengan molekul-molekul atau atom-atom nitrogen di antara kedua elektrode. Dapat diketahui bahwa arus lucutan korona mengikuti hukum kuadrat dari nilai tegangannya. Hal ini sesuai dengan prediksi Sigmond bahwa karakteristik arus terhadap tegangan mengikuti persamaan polinomial orde dua untuk lucutan korona pada kondisi atmosfer (sesuai Gambar 4).



Gambar 4 Grafik akar arus-tegangan debit aliran gas nitrogen untuk beberapa debit aliran

Gambar 4 merupakan satu grafik hubungan antara akar arus dan tegangan rerata yang mencakup semua debit aliran gas nitrogen. Akar arus diperoleh dari nilai akar dari arus yang terbaca pada multimeter analog. Dari gambar terlihat bahwa untuk setiap kenaikan tegangan rerata, maka akar arus juga ikut mengalami kenaikan. Dari hubungan antara akar arus dan tegangan rerata akan diperoleh nilai gradien yang akan digunakan untuk menentukan mobilitas pembawa muatan. Besarnya nilai

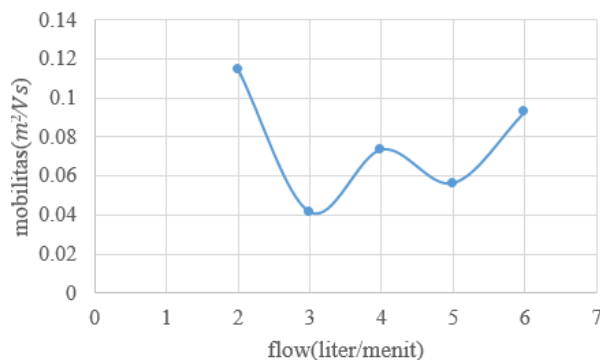
gradien tidak sama untuk tiap debit alir. Besarnya nilai gradien ini bergantung pada nilai arus saturasi ion pada tegangan tertentu. Semakin besar nilai arus saturasi, maka semakin besar pula nilai gradien

Mobilitas Pembawa Muatan

Mobilitas merupakan kecepatan yang diperoleh suatu ion yang bergerak saat melewati gas dalam setiap satuan medan listrik. Dalam penelitian ini faktor yang mempengaruhi mobilitas pembawa muatan adalah medan listrik plasma lucutan pijar korona. Penentuan nilai mobilitas ion dapat dilakukan menggunakan data karakterisasi arus dan tegangan. Nilai mobilitas ion dapat ditentukan menggunakan persamaan 10 berikut.

$$\mu = \frac{c^2 d^3}{2 S \varepsilon} \quad (10)$$

Hubungan antara debit alir gas dengan mobilitas pembawa muatan diperlihatkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Grafik hubungan debit alir gas dengan mobilitas pembawa muatan

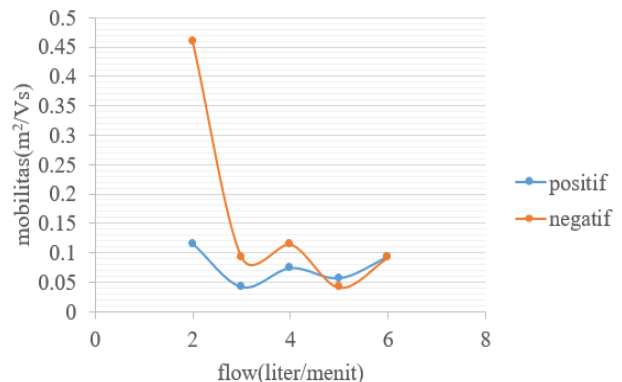
Dari gambar tersebut ditunjukkan bahwa semakin besar debit alir gas nitrogen, maka semakin tinggi pula laju ion yang bergerak saat melewati gas dalam medan listrik. Meskipun pada debit alir 3 L/menit dan 5 L/menit mengalami penurunan mobilitas pembawa muatan, namun pada debit alir 4 L/menit dan 6 L/menit mengalami kenaikan.

Hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan nilai gradien dari grafik hubungan antara akar

arus dan tegangan rerata. Besar nilai gradien dipengaruhi oleh nilai arus saturasi ion pada tegangan tertentu. Semakin besar nilai arus saturasi, maka semakin besar pula nilai gradien, yang disebabkan oleh peningkatan arus seiring peningkatan tegangan pada reaktor plasma lucutan korona.

Perbandingan Hubungan antara Debit Alir Gas dengan Nilai Mobilitas Pembawa Muatan antara Arus DC Positif dengan Arus DC Negatif

Pada penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan mobilitas pembawa muatan, antara arus DC positif dan arus DC negatif diperoleh mobilitas pembawa muatan yang berbeda-beda untuk debit alir gas nitrogen yang sama. Gambar 6 di bawah menampilkan perbandingan hubungan laju alir gas dengan mobilitas pembawa muatan antara arus DC positif dengan arus DC negatif.



Gambar 6 Grafik perbandingan mobilitas korona positif dengan korona negatif [2]

Pada beberapa debit alir antara korona positif dan negatif memiliki mobilitas pembawa muatan yang berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan polaritas tegangan yang diberikan pada elektrode aktif. Plasma lucutan korona positif dibentuk dengan memberikan polaritas positif pada elektrode kawat, sedangkan pada plasma lucutan korona negatif

dibentuk dengan memberikan polaritas negatif pada elektrode kawat.

Selain itu, pada lucutan korona positif dipengaruhi oleh ion-ion yang mengalir sedangkan pada lucutan korona negatif dipengaruhi oleh aliran elektron di dalam tabung. Hal tersebut disebabkan karena meskipun di dalam reaktor tersebut dialiri gas nitrogen, namun komposisi gas yang berada di dalamnya tidaklah sepenuhnya gas nitrogen. Terdapat beberapa persentase kecil gas oksigen di dalamnya. Karena oksigen memiliki elektronegatifitas yang tinggi maka ion yang terbentuk adalah ion negatif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal, di antaranya :

1. Pada debit alir gas nitrogen 2 L/menit sampai 6 L/menit, lucutan terjadi pada nilai tegangan yang berdekatan, yakni pada kisaran 10 kV sampai 11 kV.
2. Mobilitas ion bersifat fluktuatif untuk tiap kenaikan debit aliran gas nitrogen.
3. Lucutan korona positif dipengaruhi oleh ion-ion yang bermuatan positif, sedangkan lucutan korona negatif dipengaruhi oleh ion-ion yang bermuatan negatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nur, Muhammad., M.G. Isworo Rukmi, Komariyah, 2005, *Metoda Baru untuk Dekontaminasi Bakteri dengan Plasma non-Termik pada Tekanan Atmosfer*, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [2] Nugroho, Irfan Wahyu, 2010, *Pemanfaatan Radiasi Plasma Korona untuk Pengayaan Kadar Nitrogen pada Kompos Tandan Kosong Sawit*, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3] Jalu, Filemon N.P., Tri Retnoningsih. 2013. *Pemanfaatan Plasma Lucutan Pijar Korona sebagai Pupuk Alternatif pada Kultur Chlorella Vulgaris B*. Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [4] Nur, Muhammad, 2011, *Fisika Plasma dan Aplikasi*, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [5] Raizer, Y.P. 1991. *Gas Discharge Physics*. Berlin. Springer-Verlag.
- [6] Wais, S.I. dan Giliyana, D. 2013. *Sphere to Plane Electrodes Configuration of Positive and Negatif Plasma Corona Discharge*, American Journal of Modern Physics, 2(2): 46-52.
- [7] Nur, Muhammad., Bonifaci, N., Denat, A., 2014, *Ionic Wind Phenomenon and Charge Carrier Mobility in Very High Density Argon Corona Discharge Plasma*, IOP Publishing, Journal of Physics:ConferenceSeries 495.
- [8] Nur, M., Fadhilah, A., Suseno, A., & Sutanto, H. (n.d.). 2012. Mobilitas ion-ion Ar^+ , OH^- , H^+ , CO^{2-} , O^{2-} dan laju aliran angin ion dalam plasma korona pada tekanan atmosfer, 165–175.
- [9] Nur, Muhammad. 2016. *Modifikasi Karakteristik I (V) Robinson untuk Korona Kawat Silinder dengan Bahan Dielektrik Banyak*. Un Publish Paper.
- [10] Michael, B.N. 2017. *Analisis Mobilitas Pembawa Muatan pada Lucutan Plasma Korona Negatif Konfigurasi Kawat Silinder menggunakan Gas Nitrogen*. Skripsi. Departemen Fisika FSM UNDIP. Semarang.