

# Rancangan Awal Prototipe Miniatur Pembangkit Tegangan Tinggi Searah Tiga Tingkat dengan Modifikasi Rangkaian Pengali Cockroft-Walton

Waluyo <sup>1</sup>, Syahril <sup>2</sup>, Sigit Nugraha <sup>3</sup>, Yudhi Permana JR <sup>4</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Itenas, Bandung  
waluyo@itenas.ac.id<sup>1</sup>

## Abstrak

Tegangan tinggi searah merupakan salah satu sarana yang digunakan pada berbagai pengujian bahan isolasi dan digunakan pada layar tabung. Selain itu, tegangan tinggi arus searah juga digunakan pada saluran transmisi daya listrik. Dengan demikian tegangan tinggi arus searah sangat diperlukan keberadaannya. Makalah ini memaparkan hasil penelitian berupa rancangan prototipe miniatur pembangkit tegangan tinggi searah dengan modifikasi pengali Cockroft-Walton. Studi dalam rancangan prototipe ini, tegangan rendah bolak-balik disearahkan terlebih dahulu dan selanjutnya ditingkatkan dengan modifikasi rangkaian *Cockroft-Walton voltage multiplier*. Hasil tegangan keluaran dari rangkaian ini merupakan bentuk tegangan tinggi searah. Bentuk tegangan tinggi arus searah keluaran di-*tap* (disadap) dengan suatu *resistive voltage divider*, sehingga bentuk gelombang tegangan arus searah dapat diukur dan direkam dengan *storage digital oscilloscope*. Dari hasil rancangan untuk tiga tingkat diperoleh tegangan yang terukur sebesar 3750 Volt DC, dimana hubungan antara tegangan output DC terhadap tegangan input AC berbentuk linier.

Kata Kunci: tegangan tinggi searah; Cockroft-Walton; *voltage divider*; tiga tingkat

## 1. Pendahuluan

Pada dasarnya perkembangan suatu sistem tenaga listrik sangat pesat, sehingga membutuhkan suatu transmisi tegangan tinggi. Dalam hal ini ruang lingkup tegangan tinggi sangat luas, antara lain meliputi fenomena tegangan tinggi, seperti transmisi tegangan tinggi, pembangkitan tegangan tinggi arus searah, gejala tembus listrik, dan lain-lain.

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. Khusus pembangkitan tegangan tinggi arus searah (DC) pada dasarnya dapat dilakukan dengan beberapa cara, namun pada alat yang kami rancang pembangkitan yang dipergunakan merupakan pembangkitan tegangan tinggi arus searah dengan modifikasi pembangkit Cockroft-Walton.

Pembangkitan tegangan arus searah (DC) ditujukan untuk mengetahui fenomena tegangan tinggi seperti gejala tembus listrik pada bahan isolasi. Oleh sebab itu, rancangan dan pembuatan rangkaian ini ditujukan sebagai alat uji bahan isolasi tegangan tinggi, khususnya tegangan tinggi DC.

Tegangan tinggi DC secara bertahap akan membuat sistem isolasi mengalami degradasi. Sedangkan tujuan khusus rancangan ini adalah suatu miniatur prototipe pembangkit tegangan tinggi arus searah dengan memanfaatkan tegangan searah hasil modifikasi rangkaian pengali Cockroft-Walton.

Pembangkit tegangan tinggi searah merupakan salah satu sarana yang sangat penting, khususnya untuk skala laboratorium, untuk keperluan berbagai

penelitian dan pengujian terhadap fenomena bahan isolasi listrik tegangan tinggi, baik isolasi yang bersifat padat, cair maupun gas.

Adapun inovasi yang ditargetkan adalah penggunaan metoda pembangkit tegangan impuls dengan memanfaatkan tegangan tinggi searah dengan modifikasi rangkaian pengali Cockroft-Walton.

Realisasikan pembangkitan tegangan tinggi searah ini dengan perubahan berbagai besar amplitudo, yaitu dengan mengatur nilai tegangan bolak-balik masukan.

Prototipe alat ini sangat berguna sebagai dasar perancangan sumber pembangkit tegangan tinggi impuls untuk skala yang lebih besar. Pembangkit tegangan impuls dalam skala yang besar tersebut akan berguna untuk penelitian dan pengujian berbagai bahan isolasi pada sistem kelistrikan.

Rangkaian sederhana untuk pembangkitan tegangan tinggi searah merupakan penyearah setengah gelombang. Di sini  $R_L$  merupakan resistansi beban dan  $C$  kapasitans untuk menghaluskan tegangan keluaran d.c. Jika kapasitor tidak dihubungkan, pulsa timbul pada tegangan d.c. pada terminal keluaran dimana dengan kapasitans  $C$ , pulsa pada terminal keluaran dapat diredam. Dengan asumsi transformator ideal dan resistans internal dioda kecil selama konduksi, kapasitor  $C$  diisi untuk tegangan maksimum  $V_{max}$  selama konduksi dioda  $D$ . Asumsi bahwa tidak ada beban terhubung, tegangan d.c. pada kapasitans tetap konstan pada  $V_{max}$  dimana tegangan suplai berosilasi antara  $\pm V_{max}$  dan selama setengah siklus negatif potensial dari titik  $A$  menjadi  $-V_{max}$  dan kemudian dioda terpasang

untuk  $2 V_{max}$ . Hal yang sama jika transformator di-*grounding*. Tegangan d.c. ini bersilasi antara nol dan  $2V_{max}$  dan dibutuhkan untuk rangkaian Kaskade.

Ketika tegangan tinggi d.c. dibangkitkan, digunakan rangkaian pengganda tegangan atau pengali tegangan kaskade. Salah satu yang paling populer rangkaian pengganda adalah *Greinacher*. Cockroft dan Walton menyarankan suatu perbaikan pada rangkaian yang dikembangkan oleh Greinacher untuk menghasilkan tegangan tinggi D.C. Rangkaian kaskade fasa tunggal banyak langkah (*multistage*) merupakan pengembangan dari tipe Cockroft-Walton. Tegangan pada semua kapasitor adalah  $2 V_{max}$ , kecuali untuk  $C_1$  dimana hanya  $V_{max}$ . Tegangan output total adalah  $2nV_{max}$  dimana  $n$  adalah jumlah tingkat (*stage*). Dengan demikian penggunaan multistage disusun dengan cara yang memungkinkan diperoleh tegangan sangat tinggi (Wadhwa, 2007).

Ketika generator dibebani, tegangan output tidak pernah mencapai  $2nV_{max}$ . Gelombang output akan terdiri dari *ripple* pada tegangan. Dengan demikian, terdapat dua besaran yang timbul, yaitu jatuh tegangan dan ripple  $\delta V$  (Wadhwa, 2007; Naidu, 1999). Untuk rangkaian *n-stage*, *ripple* total akan menjadi :

$$\delta V = \frac{I}{2f} \left( \frac{1}{C'_n} + \frac{2}{C'_{n-1}} + \frac{3}{C'_{n-2}} + \dots + \frac{n}{C'_1} \right) \dots \quad (1)$$

dimana  $\delta V$  = ripple tegangan,  $f$  = frekuensi,  $C'_n, C'_{n-1}, C'_{n-2}, \dots$  = besar kapasitansi kapasitor dari terakhir (tingkat ke- $n$ ) sampai pertama. Jatuh tegangan secara pendekatan adalah :

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \cdot \frac{2}{3} \cdot n^3 \dots \quad (2)$$

dimana  $\Delta V$  adalah jatuh tegangan,  $C$  besar masing-masing kapasitor yang sama, dan  $n$  merupakan banyaknya tingkat.

Tegangan output diberikan oleh :

$$V_{o\max} = 2nV_{\max} - \frac{I}{fC} \cdot \frac{2}{3} \cdot n^3 \dots \quad (3)$$

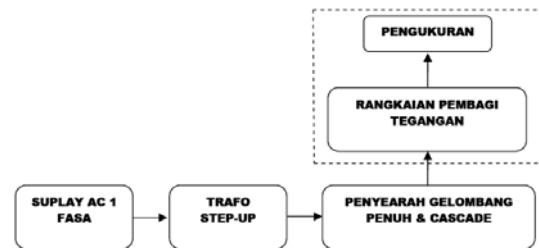
Dimana  $V_{o\max}$  adalah tegangan maksimum keluaran,  $V_{\max}$  merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada rangkaian.

Adapun penelitian yang dilakukan adalah membangkitkan tegangan searah (DC). Penyearah yang akan digunakan adalah *full rectifier*. Dengan demikian nilai rata-rata tegangan DC yang dihasilkan akan lebih besar dan lebih rata (*smooth*). Hasil gelombang tegangan DC diukur dan direkam dengan digital *storage oscilloscope*.

## 2. Metode Rancangan

### 2.1 Perancangan Alat

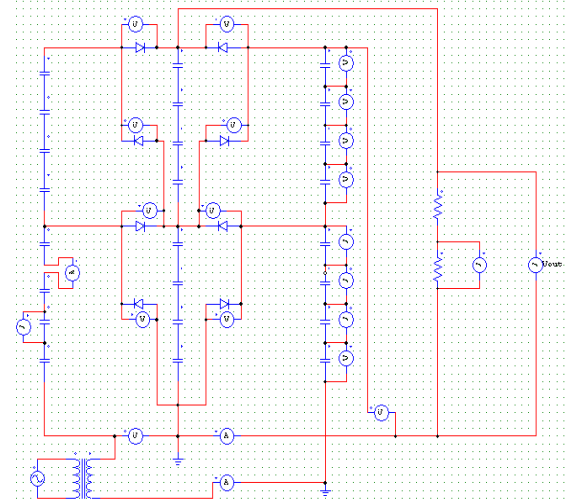
Diagram blok pembangkitan tegangan tinggi arus searah (DC) dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah (Waluyo, 2014).



Gambar 1 Diagram Blok pembangkitan tegangan tinggi

### 2.2 Simulasi

Dalam pensimulasian alat ini kami menggunakan PSIM 6.0 ex, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2 Simulasi pembangkitan tegangan tinggi DC

### 2.3 Perakitan Alat

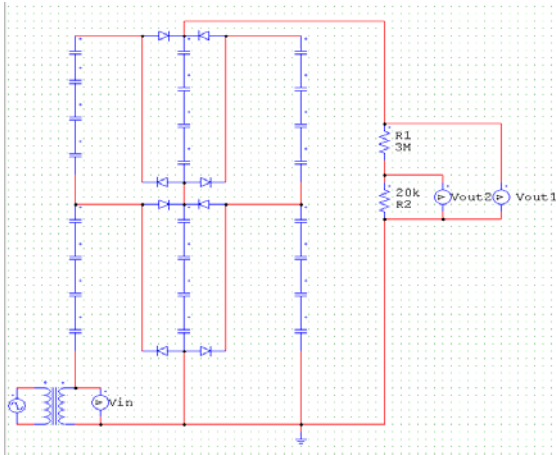
Dalam perakitan pembangkitan tegangan tinggi arus searah (DC) komponen yang dipergunakan diantaranya transformator, dioda, kapasitor, resistor, *circuit breaker*, *fuse* dan kabel penghubung.

Transformator yang di pergunakan merupakan transformator *step-up*, dengan karakteristik transformator isolasi - tap 500 Watt / 0,5 Ampere. Dalam perakitan pembangkitan tegangan tinggi arus searah (DC) peranan diode sangatlah penting, dimana prinsip kerja dari diode tersebut hanya mengeluarkan salah satu arus saja, baik positif atau negatif tergantung dari keperluan output. Pada perakitan alat ini diode yang di pergunakan merupakan dioda high-voltage dengan type : 25F120/1322.

Kapasitor yang dipergunakan merupakan kapasitor arus searah (DC) dengan type : PAG/450 Volt-100 $\mu$ F. Resistor yang dipergunakan merupakan resistor keramik dengan karakteristik : 3,3 M $\Omega$ /3 Watt dan 20 K $\Omega$ /3 Watt. *Circuit breaker* pada rangkaian ini berfungsi sebagai pengaman sekaligus sakelar dengan karakteristik CB 6 Ampere. Fuse pada rangkaian ini berfungsi sebagai pengaman dengan karakteristik 0,8 Ampere. Kabel penghubung pada alat ini merupakan kabel dengan karakteristik : NYA 1000 Volt.

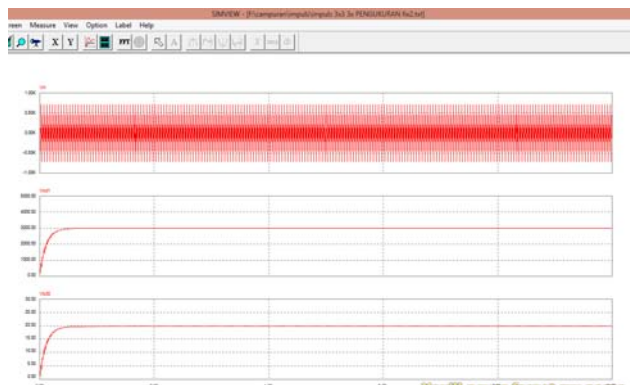
### 3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 memperlihatkan rangkaian simulasi pembangkitan tegangan tinggi DC 2 tingkat. Dalam mensimulasikan rangkaian alat ini, digunakan PSIM 6.0 ex (Waluyo, 2014).



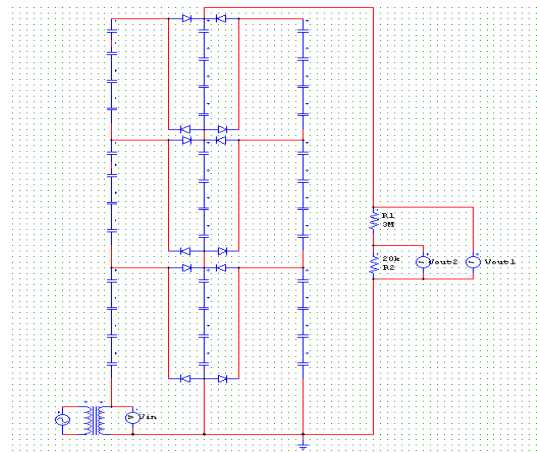
Gambar 3 Rangkaian simulasi pembangkitan tegangan tinggi DC 2 tingkat

Gambar 4 memperlihatkan sinyal masukan (*input*) dan keluaran (*output*) pembangkitan tegangan tinggi DC 2 tingkat hasil simulasi. Kurva pertama memperlihatkan gelombang masukan, berupa tegangan bolak-balik (AC) tegangan rendah. Kurva kedua memperlihatkan besar tegangan keluaran hasil simulasi, yang mana mencapai 3000 Volt. Sedangkan kurva ketiga memperlihatkan gelombang yang disadap (*di-tapped*) pada *voltage divider* yang mencapai sebesar 20 Volt.



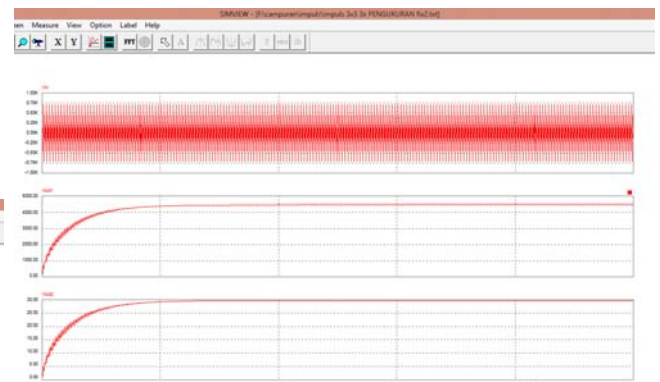
Gambar 4 Sinyal pembangkitan tegangan tinggi DC 2 tingkat

Gambar 5 memperlihatkan rangkaian simulasi pembangkitan tegangan tinggi DC 3 tingkat. Dalam mensimulasikan rangkaian alat ini, digunakan PSIM 6.0 ex.



Gambar 5 Rangkaian simulasi pembangkitan tegangan tinggi DC 3 tingkat

Gambar 6 memperlihatkan sinyal masukan (*input*) dan keluaran (*output*) pembangkitan tegangan tinggi DC 3 tingkat hasil simulasi. Kurva pertama memperlihatkan gelombang masukan, berupa tegangan bolak-balik (AC) tegangan rendah. Kurva kedua memperlihatkan besar tegangan keluaran hasil simulasi, yang mana mencapai sekitar 4500 Volt. Sedangkan kurva ketiga memperlihatkan gelombang yang disadap (*di-tapped*) pada *voltage divider* yang mencapai sebesar 30 Volt.



Gambar 6 Sinyal pembangkitan tegangan tinggi DC 3 tingkat

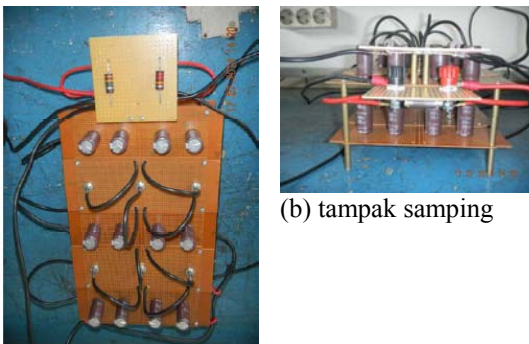
Gambar 7 memperlihatkan transformator *step-up* (penaik tegangan), dimana berfungsi sebagai pemisah utama secara elektrik antara rangkaian sumber dengan rangkaian sistem tegangan searah yang dilipatkan (*ditinggikan*). Dengan demikian, rangkaian akan relatif lebih aman, dimana bila terjadi sejenis hubung singkat tidak langsung mempengaruhi atau dipengaruhi oleh sumber tegangan. Selain itu, transformator ini berfungsi untuk penaik tegangan, dengan nilai nominal sisi primer bertegangan 220 Volt dan sisi sekunder maksimum 1000 Volt, dengan tapping 110 Volt, 220 Volt, 630 Volt dan 1000 Volt. Transformator ini menerima tegangan dari sumber listrik dan menyalurkan tegangan ke rangkaian penyearah (*rectifier*) dan rangkaian pelipat tegangan searah.



(a) tampak samping (b) tampak atas

Gambar 7 Transformator step-up untuk menyuplai penyearah

Gambar 8 memperlihatkan foto sebagian rangkaian penyearah (*rectifier*) dan pembangkit tegangan searah (DC). Fungsi rangkaian penyearah (*rectifier*) adalah untuk menyearahkan tegangan bolak-balik (AC) yang berasal dari transformator *step-up*, dimana tegangan sudah dinaikkan, menjadi tegangan searah. Selanjutnya, tegangan searah tersebut dilipatkan agar meningkat.



(a) tampak atas

Gambar 8 Rangkaian penyearah dan pelipat/pengali (*multiplier*) tegangan searah

Gambar 9 memperlihatkan rangkaian transformator tersambung dengan penyearah dan pelipat tegangan. Dari rangkaian tersebut, tegangan suplai keluaran dari transformator masuk menuju rangkaian penyearah (*rectifier*) dan selanjutnya masuk ke rangkaian pelipat tegangan DC.



Gambar 9 Rangkaian transformator tersambung dengan penyearah dan pelipat tegangan

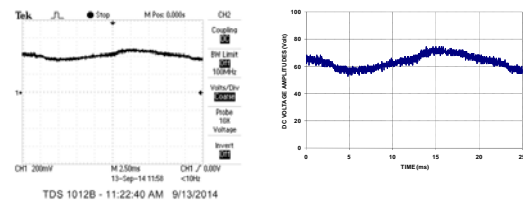
Gambar 10 memperlihatkan foto rangkaian pengukuran tegangan keluaran dari tegangan searah yang dihasilkan. Dalam rangkaian tersebut terlihat

voltmeter DC yang mampu mengukur tegangan sampai 3000 Volt. Selain itu terdapat osiloskop yang berfungsi mengukur **bentuk** dan **besar** tegangan searah yang dihasilkan. Pada kondisi ini, tegangan yang terukur sebesar sekitar 3000 Volt dengan bentuk tegangan searah (DC).

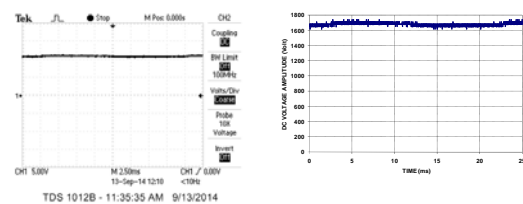


Gambar 10 Rangkaian pengukuran tegangan keluaran dari tegangan searah

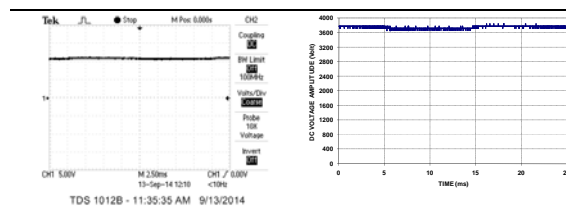
Gambar 11 sampai Gambar 12 memperlihatkan beberapa contoh gelombang tegangan keluaran DC hasil pengukuran, dimana berturut-turut sebesar 64 V, 1680 V dan 3750 V. Sedangkan Gambar 14 merupakan grafik hubungan antara tegangan output DC terhadap tegangan input AC.



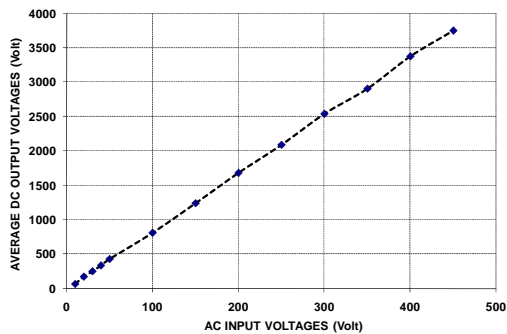
Gambar 11 Gelombang keluaran tegangan DC sebesar 64 Volt (input 10 V ac)



Gambar 12 Gelombang keluaran tegangan DC sebesar 1680 Volt (input 200 V ac)



Gambar 13 Gelombang keluaran tegangan DC sebesar 3750 Volt (input 450 V ac)



Gambar 14 Besar tegangan keluaran DC sebagai fungsi tegangan masukan AC

Dari sini jelaslah bahwa tingkatan rangkaian bertambah atau tegangan input bertambah maka tegangan keluaran DC juga bertambah.

#### 4. Kesimpulan

Untuk sementara bisa diambil kesimpulan bahwa telah berhasil tegangan searah dapat dinaikkan atau dilipatkan menjadi tegangan yang lebih tinggi, dari tegangan rendah, di bawah 1000 Volt, menjadi tegangan menengah, di atas 1000 Volt, baik secara simulasi maupun secara riil pada rangkaian *hardware* yang telah dirangkai. Secara simulasi dirancang sampai 3 (tiga) tingkat sehingga tegangan keluaran bisa mencapai sekitar 3750 Volt.

Untuk saran tahap berikutnya, rangkaian *hardware* pengali tegangan DC akan ditingkatkan, rencananya sampai 4 (tingkat), sehingga tegangan yang dihasilkan menjadi sekitar 6000 Volt DC, sebagaimana sesuai dengan simulasi yang sudah dibuat. Dengan demikian, tegangan yang relatif tinggi tersebut dapat digunakan untuk pembangkit tegangan impuls, yaitu sampai udara tembus, untuk selanjutnya dipakai untuk pengujian.

Saran selanjutnya, tegangan tinggi DC yang telah dibangkitkan sebaiknya dibebani dengan beberapa beban, sehingga diperoleh karakteristik tegangan jatuh.

#### Ucapan Terima Kasih

Makalah ini merupakan draft hasil riset tahap awal yang dibiayai oleh LP2M Itenas tahun 2014. Naskah yang lebih lengkap dan detail akan dipublikasikan dalam suatu jurnal internasional atau jurnal lainnya. Kami menyampaikan banyak terima kasih kepada LP2M Itenas dalam hal bantuan dana penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Wadhwa,C.L., High Voltage Engineering (Second Edition), New Age International (P) Limited, Publishers, 2007, pp.81.
- [2] Naidu, M, High Voltage Engineering, McGraw Hill Professional, 1999.
- [3] Waluyo, , ‘Rancangan Prototipe Miniatur Pembangkit Tegangan Tinggi Impulse dengan Parameter Variabel dan Pemanfaatan Tegangan Keluaran Pengali Cockroft-Walton sebagai Sarana Pengujian Isolasi’ Laporan Kemajuan Penelitian, Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat, Institut Teknologi Nasional, Bandung 2014.