



RANCANG BANGUN TRANSFORMATOR 7,2 V/200 A SEBAGAI CATU DAYA FILAMEN TABUNG TRIODA ITK 15-2 PADA GENERATOR COCKCROFT WALTON MBE LATEKS 300keV/20 mA

Untung Margono dan Heri Sudarmanto

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta

Email : ptapb@batan.go.id

ABSTRAK

RANCANGBANGUN TRANSFORMATOR 7,2 V/200 A SEBAGAI CATU DAYA FILAMEN TABUNG TRIODA ITK 15-2 PADA GENERATOR COCKCROFT WALTON MBE LATEKS 300 keV/20 mA. Telah dilakukan rancangbangun transformator 7,2 V/200 A. Transformator ini digunakan untuk mencatu filamen tabung trioda ITK 15-2 pada generator Cockcroft Walton MBE Lateks 300 keV/20 mA. Langkah-langkah dalam kegiatan rancangbangun ini meliputi: perhitungan parameter transformator, konstruksi dan pengujian (tanpa beban dan berbeban). Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa transformator memiliki spesifikasi: $V_p = 220$ V, $V_s = 7,2$ V, $I_p = 8,2$ A, $I_s = 200$ A, $\varnothing_p = 2$ mm, $\varnothing_s = 10$ mm, $N_p = 172$ lilit, $N_s = 6,2$ lilit dan $m_n = 22$ Kg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa transformator tersebut aman bekerja pada daerah 220 V serta memiliki tegangan dan arus maksimum masing-masing 7,58 V (tanpa beban), 6,83 V (berbeban) dan 207 A.

ABSTRACT

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF 7,2 V/200 A TRANSFORMER AS FILAMENT POWER SUPPLY FOR ITK 15-2 TRIODE TUBE IN THE 300 keV/20 mA EBM COCKCROFT WALTON GENERATOR. The design and construction of 7,2 V/200 A transformer has been done. This transformer used to supply the ITK 15-2 triode tube filamentin Cockcroft Walton generator for 300 keV Lateks EBM. The steps for designing and constructing this transformer such as transformer parameter calculation, construction and testing (without load and with load). From the calculation result is obtained the spesification: $V_p = 220$ V, $V_s = 7,2$ V, $I_p = 8,2$ A, $I_s = 200$ A, $\varnothing_p = 2$ mm, $\varnothing_s = 10$ mm, $N_p = 172$ turns, $N_s = 6,2$ turns dan $m_n = 22$ Kg. The test result shows that this transformer is safe to work at 220 V area and it has maximum voltage and current respectively 7.58 V (without load), 6.83 V (with load) and 207 A.

PENDAHULUAN

Mesin Berkas Elektron (MBE) sebagai sumber radiasi penguin (elektron berenergi) dapat dimanfaatkan untuk pra-vulkanisasi lateks karet alam. Sifat-sifat fisika, kimia dan mekanik dari lateks karet alam yang diradiasi elektron akan berubah dengan terbentuknya ikatan silang, sebagai contoh meningkatnya kekuatan regangan dan kekenyalan, berkurangnya tingkat kemuluran dan tahan terhadap panas (deformasi termal), disamping itu hilangnya nitrosamine dan protein alergen^[1,2,3,4].

PTAPB-BATAN Yogyakarta sebagai satu-satunya pusat akselerator di Indonesia menangkap peluang mengenai pengolahan lateks karet alam. PTAPB-BATAN sedang melakukan kegiatan

rancangbangun MBE dengan kapasitas 300 keV/20 mA dengan sasaran kegiatan satu prototip MBE skala industri untuk proses pra-vulkanisasi karet alam^[5]. Adapun komponen utama MBE yang sedang dirancangbangun adalah sumber elektron, tabung dan tegangan pemercepat, sistem vakum, sistem pemayar, sistem instrumentasi dan kendali^[5].

Salah satu komponen utama dari MBE adalah sumber tegangan tinggi untuk tegangan pemercepat. Ada banyak jenis generator tegangan tinggi yaitu *cascade transformer*, *dynamitron*, *Van de Graff*, dan *Cockcroft-Walton*^[6-8]. Dari beberapa jenis tegangan tinggi tersebut satu diantaranya yang banyak digunakan pada MBE adalah jenis generator *Cockcroft-Walton*. Generator *Cockcroft-Walton* yang didesain untuk sistem pemercepat MBE Lateks di PTAPB adalah 300 kV/30 mA.



**PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 26 September 2012**

Komponen utama generator *Cockcroft-Walton* adalah osilator daya, pelipat tegangan, *HV terminal dome* dan *elektrode ring*.

Osilator pada generator *Cockcroft Walton* berfungsi sebagai pengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan frekuensi tertentu sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, sehingga peningkatan tegangan pada pelipat menjadi optimum. Salah satu komponen vital pada osilator daya adalah tabung elektron (trioda), dengan filamen merupakan salah satu bagiannya. Untuk mengaktifkan filamen, diperlukan sumber daya filamen yang berfungsi untuk memberikan daya pada filamen tabung trioda atau sebagai pemanas filamen, sehingga dihasilkan elektron-elektron untuk beroperasinya tabung trioda sebagai osilator daya. Tabung trioda yang akan digunakan adalah tabung trioda tipe ITK 15-2^[9] dengan spesifikasi filamen 7,2 V/180 A. Berdasarkan referensi tersebut perlu dilakukan rancang bangun transformator filamen tabung trioda ITK 15-2 7,2 V/200 A.

DASAR TEORI

Perancangan transformator^[10]

Langkah awal yang diambil dalam merancang transformator adalah penentuan kapasitas transformator meliputi tegangan dan arus. Persamaan (1) sampai (3) menunjukkan penentuan kapasitas transformator

$$P_s = V_s \cdot I_s \quad (1)$$

$$P_p = \frac{P_s}{\eta} \quad (2)$$

$$I_p = \frac{P_p}{V_p} \quad (3)$$

dengan P_s adalah daya sekunder (W), P_p adalah daya primer (W), V_s adalah tegangan sekunder (V), V_p adalah tegangan primer (V), I_s adalah arus sekunder (A), I_p adalah arus primer (A) dan η adalah efisiensi transformator.

Dengan mengetahui nilai dari arus primer maupun sekunder, maka diameter kawat yang digunakan dapat ditentukan seperti yang ditunjukkan pada persamaan (4) dan (5)

$$\phi_p = 0,7 \sqrt{I_p} \quad (4)$$

$$\phi_s = 0,7 \sqrt{I_s} \quad (5)$$

dengan ϕ_p adalah diameter kawat lilitan primer (mm) dan ϕ_s adalah diameter kawat lilitan sekunder (mm).

Dimensi inti dapat ditentukan dengan rumus empiris yang terlihat pada persamaan (6) sampai (9).

$$A = b \cdot h \quad (6)$$

$$b = \left(\frac{1,5 P_p}{9,9} \right)^{1/3} \quad (7)$$

$$h = \frac{b}{0,6561} \quad (8)$$

$$m_n = 1,5 \cdot P_p \cdot 7,8 \quad (9)$$

dengan A adalah luas penampang efektif inti efektif yang diberi lilitan koil (cm^2), b adalah sisi penampang memanjang inti transformator (cm), h adalah sisi penampang melintang inti transformator (cm) dan m_n adalah berat inti transformator (gram). Untuk menentukan jumlah lilitan masing-masing koil transformator, terlebih dahulu ditentukan faktor lilitan. Perhitungan faktor lilitan didapatkan dari perhitungan tegangan induksi seperti yang terlihat pada persamaan (10).

$$E = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot B_{\text{max}} \cdot A \cdot 10^{-8} \quad (10)$$

Dengan melihat tipikal transformator yang memiliki data-data seperti yang tertera pada Tabel 1 dan frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz, maka faktor lilitan dapat dihitung menggunakan persamaan empiris seperti pada persamaan (11).

Tabel 1. Tipikal transformator.

| | |
|------------------|---------------------------|
| B_{max} | 9000 gauss/ cm^2 |
| Rugi-rugi inti | < 1% P_o |
| Rugi-rugi total | 1 – 3 % P_o |
| Efisiensi | 97 - 98% |

$$\frac{N}{E} = \frac{50}{A} \quad (11)$$

Dari persamaan (11) di atas, maka jumlah lilitan primer maupun sekunder dapat ditentukan seperti yang tertera pada persamaan (12) dan (13).

$$n_p = \frac{N}{E} \cdot V_p \quad (12)$$

$$n_s = 1,1 \cdot \frac{N}{E} \cdot V_s \quad (13)$$

dengan n_p adalah jumlah lilitan primer (lilit) dan n_s adalah jumlah lilitan sekunder (lilit).

TATA KERJA

Peralatan dan bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan untuk membuat transformator meliputi: pertineks tebal 3 mm, inti transformator ukuran 5,7 cm, kawat email diameter 2 mm, kawat las diameter 10 mm, lem araldite biru, mur baut ukuran M6, gergaji, klem, pemotong atau *cutter* dan kertas isolasi transformator. Peralatan dan bahan yang digunakan untuk pengujian transformator antara lain multimeter, catu daya *Hypotronics*, variac dan tang ampere.

Perhitungan transformator

Langkah awal dalam pembuatan transformator adalah melakukan perhitungan parameter-parameter transformator, sesuai dengan perancangan yang telah dibuat sebelumnya.



Parameter transformator meliputi tegangan, arus, daya, diameter kawat, dimensi inti, dan jumlah lilitan.

Pembuatan transformator

1. Pembuatan koker

Koker merupakan tempat untuk menggulung lilitan transformator. Koker terbuat dari bahan pertineks yang bersifat isolator. Pertineks dibentuk sesuai dengan desain yang telah dibuat.

2. Penggulungan lilitan dan pemasangan isolasi.

Kawat email primer dan sekunder dipotong sesuai dengan keliling koker dan jumlah lilitan. Langkah selanjutnya kertas isolasi transformator dipasang pada koker yang telah terkonstruksi. Kemudian kawat email primer dililitkan sesuai dengan jumlah lilitan. Jika lebih dari satu lapis, maka antar lapis dipasang kertas isolasi transformator (prespan). Begitu pula dengan kawat email sekunder. Pada sisi luar kawat email sekunder serta di antara kawat primer dan sekunder dipasang kertas isolasi transformator (prespan).

3. Pemasangan inti transformator.

Transformator dibuat menggunakan inti dengan bentuk E-I. Inti yang digunakan adalah 5,7 cm. Inti tersebut dipasang sepanjang ukuran koker yang telah dibuat. Langkah selanjutnya adalah inti tersebut dikencangkan menggunakan mur baut, besi siku dan klem.

Pengujian transformator

Pengujian transformator meliputi uji tanpa beban dan uji berbeban.

1. Uji tanpa beban.

Pengujian tanpa beban meliputi uji ketahanan isolasi dan uji tegangan (tanpa beban).

2. Uji ketahanan isolasi

Meskipun transformator hanya bekerja pada daerah tegangan 220 V, transformator tersebut tetap diuji ketahanan isolasinya. Untuk itu transformator ini didisain tahan terhadap tegangan 1 kV. Caranya yaitu bagian primer dan inti dihubungkan dengan *ground*, sedangkan bagian sekunder dihubungkan dengan catu daya

Hypotronics yang divariasi dari 0 - 1 kV. Kemudian diamati apakah terjadi *discharge* atau tidak serta mengamati arus bocor yang mungkin terjadi.

3. Uji tegangan (tanpa beban)

Uji tegangan ini dimaksudkan untuk mengetahui tegangan keluaran transformator. Hal ini dilakukan dengan cara: sisi primer transformator dihubungkan dengan variac dan masukan variac berupa tegangan PLN dengan variasi antara 0 - 220 V dan tegangan sekunder diamati menggunakan multimeter.

4. Uji berbeban

Uji berbeban dimaksudkan untuk mengetahui performan dari transformator. Hal ini dilakukan dengan cara: sisi primer transformator dihubungkan dengan variac dan masukan variac divariasi antara 0 - 220 V dan tegangan sekunder dihubungkan dengan filamen tabung trioda ITK 15-2 yang berfungsi sebagai beban. Kemudian tegangan keluaran transformator diamati menggunakan multimeter, sedangkan untuk arus digunakan tang amper.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan memasukkan parameter tegangan dan arus transformator filamen tabung trioda ITK 15-2 sebesar 7,2 V dan 200 A ke dalam persamaan (1), maka daya sekunder adalah 1440 W. Transformator ini didesain memiliki efisiensi sebesar 80%, sehingga nilai daya primer transformator adalah 1800 W. Alasan asumsi efisiensi transformator sebesar 80% adalah bahan yang telah dimiliki dan akan digunakan untuk pembuatan transformator akan menambah rugi-rugi sebesar 20%. Hasil perhitungan parameter transformator filamen tabung trioda ITK 15-2 ditunjukkan pada Tabel 2.

Untuk lilitan sekunder dengan diameter 10 mm, akan digunakan kawat las. Hal ini mudah diperoleh di pasaran lokal. Jumlah lilitan sekunder tersebut dibulatkan menjadi 6,5 lilit, agar memudahkan dalam konstruksi dan untuk mengurangi rugi daya.

Tabel 2. Hasil perhitungan parameter transformator filamen tabung trioda ITK 15-2.

| No. | Parameter | Lambang/Notasi | Nilai |
|-----|-------------------------------|----------------|-----------|
| 1 | Tegangan sekunder | V_s | 7,2 V |
| 2 | Arus sekunder | I_s | 200 A |
| 3 | Daya sekunder | P_s | 1440 W |
| 4 | Diameter kawat sekunder | \emptyset_s | 10 mm |
| 5 | Jumlah lilitan kawat sekunder | N_s | 6,2 lilit |
| 6 | Tegangan primer | V_p | 220 V |
| 7 | Arus primer | I_p | 8,2 A |
| 8 | Daya primer | P_p | 1800 W |



**PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 26 September 2012**

| No. | Parameter | Lambang/Notasi | Nilai |
|-----|---------------------------------------------|----------------|----------------------|
| 9 | Diamater kawat primer | \emptyset_p | 2 mm |
| 10 | Jumlah lilitan kawat primer | N_p | 172 lilit |
| 11 | Luasan penampang efektif inti transformator | A | 64,1 cm ² |
| 12 | Sisi panjang penampang inti | b | 5,7 cm |
| 13 | Sisi lebar penampang inti | h | 12 cm |
| 14 | Massa inti | m_n | 22 kg |

Tabel 3. Uji ketahanan isolasi.

| No. | Tegangan, (kV) | Menit, ke- | Keterangan |
|-----|----------------|------------|------------------------------------------------------------|
| 1. | 1 | 10 | Tidak ada arus yang bocor dan tidak ada <i>discharge</i> . |
| 2. | 1 | 20 | Tidak ada arus yang bocor dan tidak ada <i>discharge</i> . |
| 3. | 1 | 30 | Tidak ada arus yang bocor dan tidak ada <i>discharge</i> . |
| 4. | 1 | 40 | Tidak ada arus yang bocor dan tidak ada <i>discharge</i> . |
| 5. | 1 | 50 | Tidak ada arus yang bocor dan tidak ada <i>discharge</i> . |
| 6. | 1 | 60 | Tidak ada arus yang bocor dan tidak ada <i>discharge</i> . |

Uji ketahanan isolasi

Transformator untuk filamen tabung trioda ini bekerja pada daerah tegangan 220 V. Untuk mengetahui kehandalan dari isolasi transformator ini, maka transformator ini diuji pada tegangan 1 kV. Hasil uji ketahanan isolasi disajikan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 diperoleh informasi bahwa transformator yang telah dikonstruksi aman untuk bekerja pada daerah 220 V. Hal ini diindikasikan dengan tidak adanya arus bocor dan *discharge* yang melewati konduktor.

Uji tegangan tanpa beban

Langkah selanjutnya adalah melakukan uji tegangan tanpa beban. Hasil uji tegangan tanpa beban tertera pada Tabel 4.

Dari hasil uji tersebut menunjukkan bahwa tegangan sekunder transformator sebanding dengan tegangan primernya. Hal ini disebabkan oleh perbandingan jumlah lilitan primer dan sekunder yang sebanding tegangannya yaitu:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{172}{6,5} = \frac{26}{1}$$

Pada saat tegangan masukan maksimum yaitu 220 V, maka tegangan keluaran transformator 7,58 V. Hal ini mengindikasikan bahwa transformator yang telah dibuat telah mencapai spesifikasi tegangan yaitu 7,2 V.

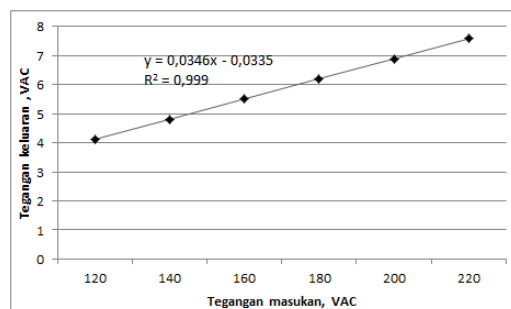
Uji berbeban

Untuk mengetahui kemampuan arus dari transformator ini, maka dilakukan uji beban dimana bebannya berupa tabung trioda ITK 15-2. Gambar 2 menunjukkan grafik tegangan masukan dengan tegangan keluaran transformator, sedangkan Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan

tegangan masukan transformator dengan arus sekunder transformator.

Tabel 4. Data uji tegangan tanpa beban.

| No. | Tegangan primer (V-AC) | Tegangan sekunder (V-AC) |
|-----|------------------------|--------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 20 | 0,72 |
| 3 | 40 | 1,39 |
| 4 | 60 | 2,09 |
| 5 | 80 | 2,77 |
| 6 | 100 | 3,44 |
| 7 | 120 | 4,12 |
| 8 | 140 | 4,81 |
| 9 | 160 | 5,51 |
| 10 | 180 | 6,21 |
| 11 | 200 | 6,89 |
| 12 | 220 | 7,58 |

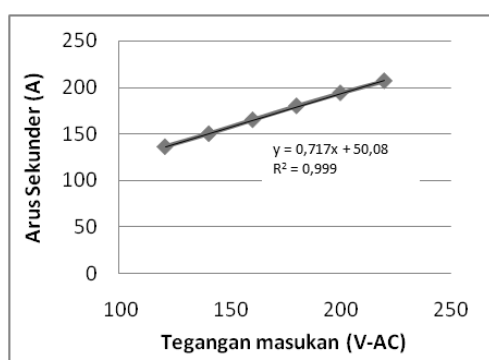


Gambar 2. Grafik perbandingan tegangan masukan dengan keluaran transformator.

Dari Gambar 2 diketahui bahwa semakin besar masukan tegangan transformator, maka semakin besar tegangan keluaran transformator. Dengan adanya beban, maka tegangan keluaran relatif lebih kecil dibandingkan dengan tegangan keluaran tanpa beban. Hal ini disebabkan karena



adanya arus yang mengalir ke beban, sehingga tegangan keluaran transformator menurun. Dari pengujian diperoleh persamaan $y = 0,034x - 0,697$ dengan $R^2 = 0,999$. Pada saat primer diberi tegangan masukan sebesar 220 V, maka tegangan keluaran transformator adalah 6,83 V. Tegangan ini masih dalam *range* operasi transformator untuk filamen tabung trioda yang biasanya dioperasikan pada tegangan 6,3 V. Filamen tabung trioda tidak dioperasikan maksimum yaitu 7,2 V, agar umur dari tabung triode yang harganya relatif mahal, menjadi lebih lama. Hal ini sesuai dengan hukum ohm, dimana dengan tahanan yang tetap dan tegangan bertambah, maka arus akan bertambah



Gambar 3. Grafik perbandingan tegangan transformator dengan arus sekunder transformator.

Gambar 3 menginformasikan bahwa semakin besar masukan tegangan transformator, maka semakin besar arus yang mengalir pada sisi sekunder. Hal ini sesuai dengan hukum ohm, dimana dengan tahanan yang tetap dan tegangan bertambah, maka arus akan bertambah. Dari pengujian diperoleh persamaan $y = 0,717x + 50,08$ dengan $R^2 = 0,999$. Pada saat tegangan masukan pada posisi 220 V, maka arusnya menunjuk 207 A. Hal ini mengindikasikan bahwa spesifikasi transformator telah terpenuhi yaitu 200 A.

KESIMPULAN

1. Spesifikasi transformator untuk filamen tabung trioda ITK 15-2 yang akan digunakan sebagai osilator daya generator Cockcroft Walton pada MBE lateks sebagai berikut:
 - tegangan primer (V_p) 220 V,
 - tegangan sekunder (V_s) 7,2 V,
 - arus primer (I_p) 8,2 A,
 - arus sekunder (I_s) 200 A,
 - diameter kawat primer (ϕ_p) 2 mm,
 - diameter kawat sekunder (ϕ_s) 10 mm,
 - jumlah lilitan primer (N_p) 172 lilit,
 - jumlah lilitan sekunder (N_s) 6,2 lilit
 - berat inti (m_n) 22 Kg.

2. Transformator aman bekerja pada daerah 220 V.
3. Transformator yang telah dikonstruksi mampu mengeluarkan tegangan dan arus sebesar 7,58 V (tanpa beban), 6,83 V (berbeban) dan 207 A.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih diucapkan kepada Bapak Rany Saptaji, ST selaku pemegang sub-uskeg MBE lateks dan Bapak Ir. Suprpto sebagai Kepala BTAFN.

DAFTAR PUSTAKA

1. MAKUUCHI, K., Electron Beam Processing of Rubbers, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beams, JAERI-M, 90-194, (1990).
2. YAMAMOTO, S., Crosslinking of Wire and Cables with Electron Beam, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beams, JAERI-M, 90-194, (1990).
3. MERI SUHARINI, Vulkanisasi lateks karet alam secara batch dengan iradiasi berkas elektron, PPI Aplikasi radiasi, PATIR-BATAN (2002).
4. ZHONGHAI, C AND MAKUUCHI, K, Radiation vulcanization of natural rubber latex with 3 MeV electron beams, International Symposium on RVNRL, JAERI-M 889-28 (1990) 358.
5. DARSONO, *Rancangan Dasar Mesin Berkas Elektron 300 keV/20 mA Untuk Industri Lateks Alam*, Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Edisi khusus, Yogyakarta, Juli 2006.
6. NAIDU, M.S., KAMARAJU, V., High Voltage Engineering (2nd Edition), Mc Graw-Hill(1996).
7. BLAISE G, SARJEANT, W.J., Electrical aging and breakdown indielectric materials, *Handbook of Low and High Dielectric Constant Materials and Their Applications*, edited by H.S. Nalwa Volume 2: *Phenomena, Properties, and Applications*, Academic Press (1999).
8. H.M. RYAN (ED.), High Voltage Engineering and Testing, McGraw-Hill, 2nd Edition, ISBN: 0-85296-775-6. (2005).
9. Katalog Tabung Trioda ITK 15-2, Thales (2011).
10. DAWES, CHESTER L., " Electrical Engineering", McGraw-Hill Book Company, Tokyo.