

PPGM — L 196 — 78

PEMBUATAN TEGANGAN TINGGI 300.000 VOLT

Sumihar Hutapea



**BADAN TENAGA ATOM NASIONAL
PUSAT PENELITIAN TENAGA ATOM GAMA
YOGYAKARTA — INDONESIA**

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.

Teknik dan Teknologi Akselerator

PPGM - L 196 - 78

PEMBUATAN TEGANGAN TINGGI 300.000 VOLT

Sumihar Hutapea

1978

BADAN TENAGA ATOM NASIONAL
Pusat Penelitian Tenaga Atom Gama
Jl. Babarsari Kotakpos 8 Telepon 3661
YOGYAKARTA - INDONESIA

A B S T R A K

Beberapa cara pembuatan tegangan tinggi bolak balik dan tegangan searah diterangkan. Generator pulsa buat sumber tegangan tinggi Puslit Gama, didesain dari transistor. Pembuatan trafo tegangan tinggi dengan ferrit radio sebagai teras juga diberikan.

A B S T R A C T

Some methods of designing a.c and d.c high voltage supplies are discussed. A high voltage supply for the Gama Research Centre accelerator is designed using transistor pulse generators. High voltage transformers being made using radio transistor ferrits as a core are also discussed.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
I. PENDAHULUAN	1
II. BERBAGAI CARA PEMBUATAN TEGANGAN TINGGI	2
1. Transformator ganda	2
2. Transformator resonansi	3
III. TEGANGAN TINGGI SEARAH	5
IV. PEMBUATAN PULSA EMPAT PERSEGI	8
V. GENERATOR PULSA DENGAN TRANSISTOR	11
VI. GENERATOR PULSA AKSELERATOR PUSLIT GAMA	15
VII. TEGANGAN TINGGI PUSLIT GAMA	17
VIII. KESIMPULAN DAN RENCANA PENGEMBANGAN	18
DAFTAR PUSTAKA	19

I. PENDAHULUAN

Dalam bidang akselerator tegangan di bawah 1 MW dianggap tegangan rendah, sekalipun dalam bidang lainnya tegangan 1 MW termasuk tegangan tinggi.

Akselerator elektrostatik yang menggunakan tegangan listrik di bawah 1 MV biasa disebut akselerator tenaga rendah. Pesawat yang tegangannya lebih besar dari yang disebut di atas harganya sangat mahal sehingga banyak laboratorium tidak mampu membelinya. Namun demikian akselerator tenaga rendah dapat dibuat sendiri di berbagai laboratorium dan mempunyai penggunaan jauh lebih banyak dibandingkan dengan akselerator bertenaga tinggi.

Yang bertenaga 600 KV misalnya dapat digunakan antara lain untuk :

1. Proses aktivasi
2. Peristiwa hamburan atom
3. Ion implantation
4. Polimerisasi

Kecuali empat penggunaan tersebut masih banyak lagi penggunaan yang belum disebutkan di sini. Empat penggunaan di atas sengaja kami utarakan, sesuai dengan tujuan dari pada pembuatan tegangan tinggi yang sekarang kami hadapi di Laboratorium Fisika Nuklir Puslit Gema.

II. BERBAGAI CARA PEMBUATAN TEGANGAN TINGGI

Banyak cara pembuatan tegangan tinggi. Tegangan tinggi dapat dibuat dengan menggunakan transformator biasa, transformator ganda (*cascade transformer*), surge generator, voltage multiplier dan sebagainya. Tegangan tinggi dapat dibangkitkan dengan cara mekanis, misalnya dengan mesin Wimshurst, generator Van de Graaff dan sebagainya.

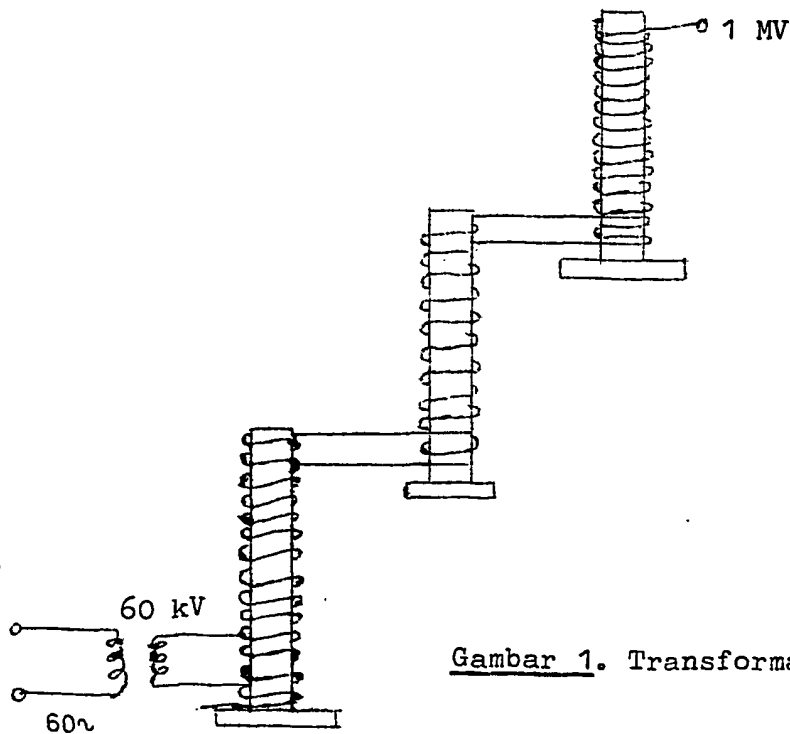
Buat akselerator, kuat arus yang dibutuhkan biasanya tidak besar, hanya berkisar orde miliamper, sedang untuk maksud lainnya ada yang menggunakan arus kuat.

Tegangan tinggi dapat berupa tegangan tinggi arus bolak-balik dan tegangan tinggi arus searah.

A. Sumber tegangan tinggi bolak-balik

1. Transformator ganda

Dapat dibedakan tegangan bolak-balik tinggi dan frekuensi rendah. Dengan transformator ganda frekuensi 60 Hz dapat diperoleh tegangan hingga 1 MV. Untuk itu transformator dibuat bertingkat, setiap transformator terdiri dari tiga lilitan, yaitu lilitan primer dengan tegangan 3-6 kV, sekunder 247 kV dan lilitan perangsang 3 kV. Pada gambar 1 ditunjukkan suatu contoh skema transformator ganda.

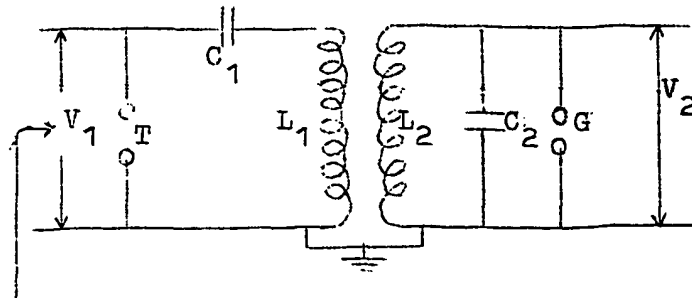


Gambar 1. Transformator ganda

2. Transformator resonansi

Transformator ini dapat memberi tegangan yang besar bila terjadi resonansi frekuensi tinggi. Transformator tipe ini dapat memberi tegangan 5 MV. Suatu contoh adalah kumparan Tesla yang beresonansi pada frekuensi 130 kHz, tegangan *outputnya* 750 kV.

Pemistiwa resonansi dapat diterangkan berdasarkan Gambar 2. Rangkaian ini terdiri dari dua untai, untai primer dan untai sekunder. T adalah suatu alat yang dapat meloncatkan bunga api listrik bila kapasitor C_1 dimuati hingga mencapai tegangan maksimum yang besarnya sama dengan tegangan sumber a.c atau d.c yang diberikan pada untai. L_1 merupakan gulungan primer dari transformator. Tegangan dari untai primer $L_1 C_1$ diberikan pada sekunder $L_2 C_2$ kemudian dikembalikan pada L_1 .



Sumber a.c atau d.c.

Gambar 2. Transformator resonans

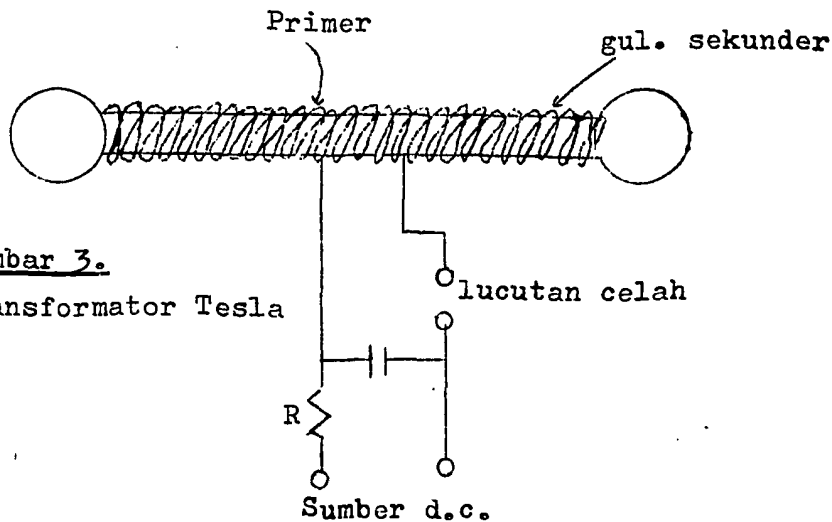
L_1 C_1 diberikan lagi dan seterusnya. Besar frekuensi osilasi untai primer dapat ditulis :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

Besar tegangan *output* dapat diperoleh dari rumus

$$\frac{V_2}{V_1} = p \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$$

dimana p menunjukkan besar efisiensi yaitu $p^2 < 1$. Transformator Tesla dengan frekuensi resonans 100 kHz dengan tegangan 5 MV pada gulungan sekunder diberikan pada Gambar 3. Gulungan primer diisolasi terhadap sekunder yang banyaknya 5000 hingga 7000 lilitan pada tabung pirex panjang 1m dan semuanya dimasukkan dalam minyak.

Gambar 3.

Transformator Tesla

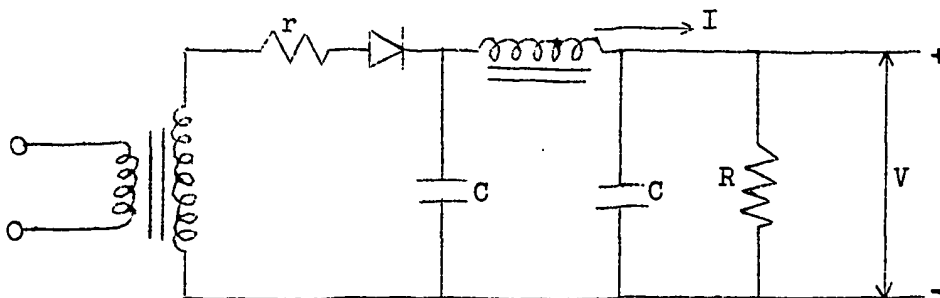
III. TEGANGAN TINGGI SEARAH

Tegangan tinggi buat akselerator biasanya tegangan searah. Untuk menghasilkan sinar X dapat digunakan tegangan a.c oleh karena tabung sinar X sendiri sudah merupakan suatu penyearah.

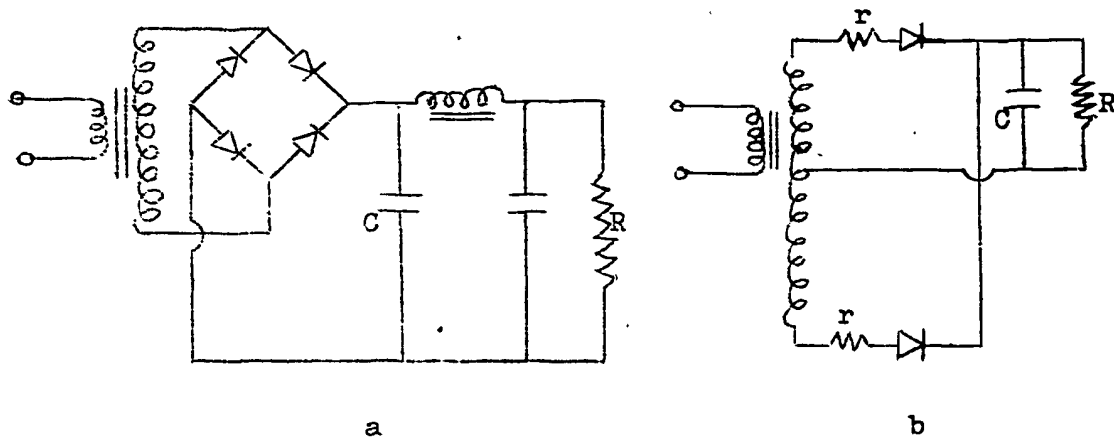
Dioda-dioda tegangan tinggi dari bahan *solid state* sekarang ini banyak diperdagangkan dengan harga relatif murah. Arusnya dapat mencapai puluhan miliampere sehingga untuk maksud tertentu, penyearah dengan tabung dapat diganti dengan *solid state*. Penyearah untuk gelombang sinus frekuensi rendah dapat dibedakan :

1. *Simple half wave rectifier*
2. *Full wave rectifier*

Hasil penyearahan dapat berupa *single phase half wave*, *bi phase half wave* dan *single phase full wave*. Ketiga tipe penyearah tersebut masing-masing menggunakan untai seperti ditunjukkan pada Gambar 4, 5a) dan 5b).

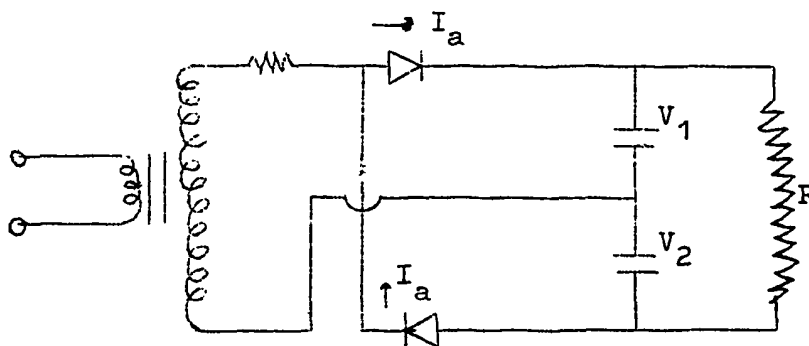


Gambar 4. *Single phase half Wave*



Untuk *single phase half wave*, besar arus beban $I_a = \frac{V}{R}$ sedang untuk *bi-phase half wave* dan *single phase full wave* besarnya $2 I_a$.

Voltage doubler sering digunakan oleh karena tegangan sekunder transformator tidak perlu tinggi. Untai ini merupakan dua untai *single phase half wave* yang dihubungkan seri.

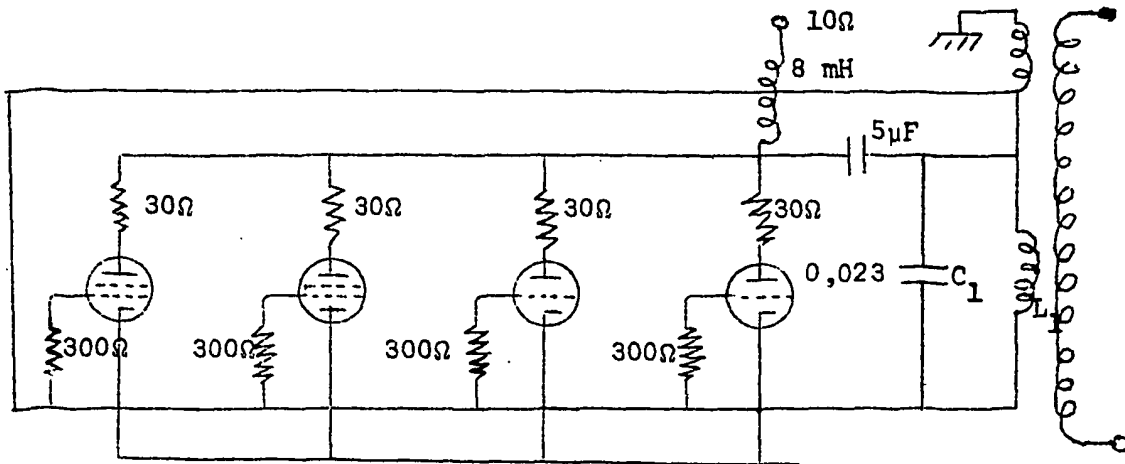


Gambar 6. Voltage doubler.

Untai penyearah frekuensi tinggi

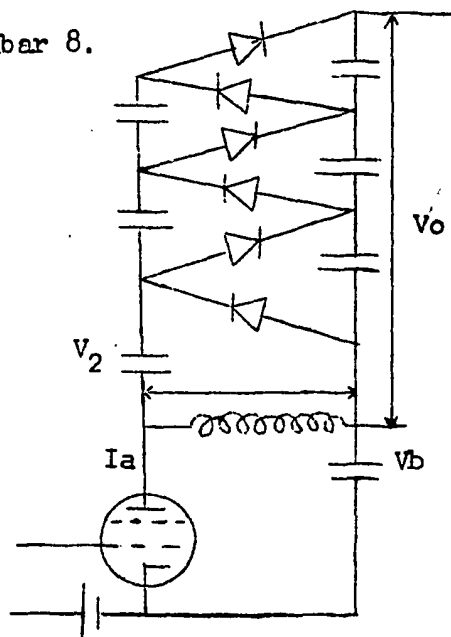
Tegangan tinggi dapat diperoleh dengan menyearahkan frekuensi tinggi dari suatu osilator dan trafo frekuensi tinggi. Alat ini ba-

nyak digunakan untuk mikroskop elektron, alat-alat elektronik dan akselerator. Besar frekuensi antara 10 hingga 100 kHz. Malahan ada yang menggunakan frekuensi orde MHz. Pada bab-bab selanjutnya keterangan mengenai generator pulsa masih akan diuraikan. Salah satu contoh osilator dengan menggunakan tabung dan beresonansi pada frekuensi 65 kHz



Gambar 7. Generator pulsa frekwensi tinggi

kami tunjukkan pada untai Gambar 7. Penyearah ganda menggunakan generator pulsa ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kaskad penyearah

IV. PEMBUATAN PULSA EMPAT PERSEGI

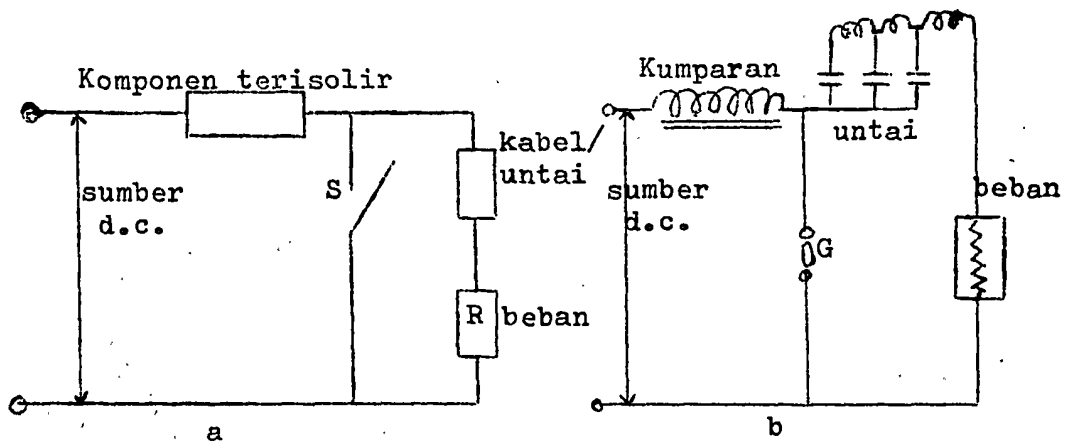
Tegangan tinggi dapat juga dibuat dengan menggunakan generator pulsa. Pulsa-pulsa dari generator ini dapat memodulasi suatu sumber a.c ataupun d.c sehingga timbul tegangan tinggi. Bentuk pulsa yang diperlukan biasanya bentuk empat persegi. Pulsa-pulsa dapat berupa pulsa tegangan tinggi, sehingga tidak memerlukan alat penguat. Pada generator pulsa dengan tabung elektronik ataupun transistor, pulsa tegangan tinggi diperoleh dengan menggunakan transformere tegangan tinggi pada *output*.

Pulsa empat persegi dapat dihasilkan oleh :

1. Generator pulsa yang menggunakan untai pembentuk pulsa atau kabel
2. Lucutan celah putaran
3. Lucutan celah rangsangan
4. Generator pulsa menggunakan tabung atau transistor.

Generator pulsa dengan untai

Untai pembentuk pulsa dapat menghasilkan sinyal empat persegi. Prinsip kerjanya dapat diterangkan sebagai berikut (Gambar 9).



Gambar 9. a). Generator pulsa menggunakan kabel atau untai.

b). Lucutan celah putaran.

Rangkaian menggunakan suatu untai khusus yang disebut untai pembentuk pulsa. Untai ini dapat merupakan suatu kabel. Oleh suatu sumber tegangan a.c atau d.c, untai atau kabel dimuati hingga mencapai tegangan tertentu dan kemudian dilucuti. Bila pemutus S tertutup maka muatan kabel atau untai pulsa akan dilucuti pada tahanan R.

Tahanan gelombang dari pada kabel adalah $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$, dimana L dan C masing-masing merupakan induktansi dan kapasitansi kabel. Bila kabel dimuati hingga tegangan V maka arus lucutan pada R adalah :

$$I = \frac{V}{R + Z}$$

Dan besar pulsa empat persegi pada R adalah :

$$V_o = \frac{RV}{R + Z}$$

Lucutan celah putaran

Rotating spark gap atau lucutan celah putaran dapat memberi pulsa dengan menggunakan benda berputar G yang bekerja sebagai modulator, yaitu merubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik. Induktansi kumparan L dan kapasitansi C dibuat sedemikian besarnya sehingga

$$f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Besar impedansi untai pembentuk pulsa dibuat sama dengan besar tahanan beban, yaitu :

$$R = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

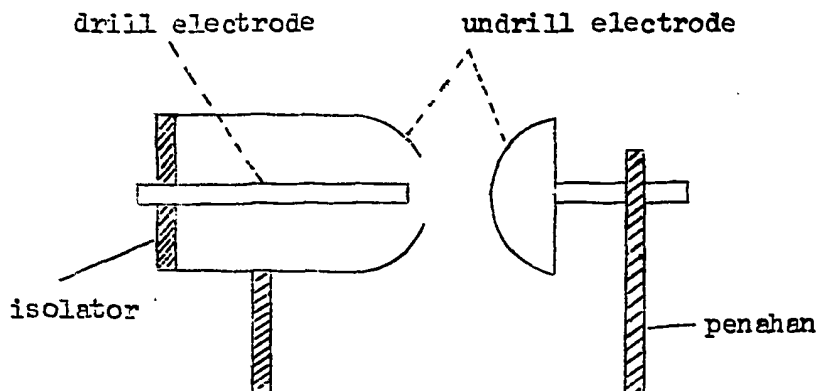
Lucutan celah rangsangan

Alat ini sering disebut trigatron, terdiri dari tiga elektroda yaitu :

- drill elektroda
- undrill elektrode

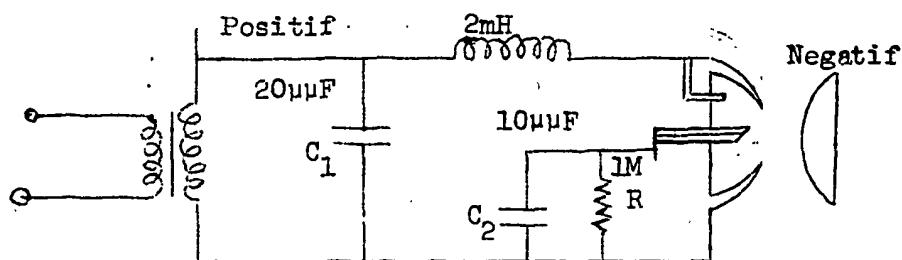
- trigger elektrode

drill elektrode dan undrill elektrode dihubungkan melalui suatu tahanan R. Kedua elektrode mempunyai tegangan yang sama.



Gambar 10. Lucutan celah rangsangan

Tegangan pulsa diberikan pada elektrode perangsang sehingga terjadi lucutan celah antara kedua elektrode dan terjadi hubungan pendek. Salah satu contoh ditunjukkan pada Gambar 11.

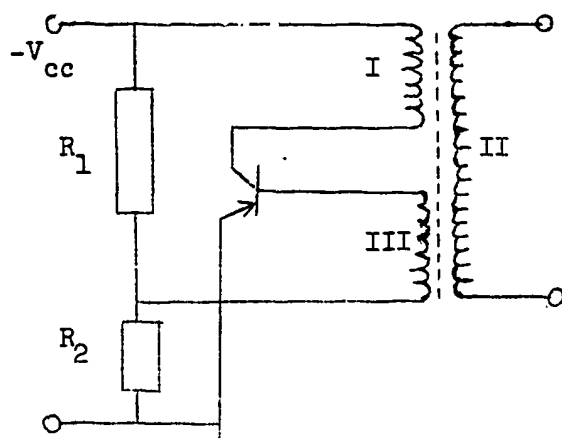


Gambar 11. Lucutan celah dengan rangsangan transformator

Trigger voltage diambil dari transformator. Besar C_1 20 μF . Bila terjadi lucutan, kapasitans C_1 akan mengadakan lucutan pada induktans L yang besarnya 1 mH.

V. GENERATOR PULSA DENGAN TRANSISTOR

Transistor sebagai generator pulsa diperlukan untuk merubah tegangan searah 6 hingga 30 volt menjadi tegangan bolak balik yang lebih tinggi. Bentuk pulsa biasanya empat persegi. Dalam hal ini transistor bekerja sebagai sakelar pemutus dan penyambung arus. Transistor dapat berubah dari kedudukan "OFF" ke kedudukan "ON" dan sebaliknya. Proses ini berlangsung periodik dengan frekuensi ratusan hingga ribuan kali perdetik, sebagai akibat datangnya sinyal pada untai basis. Sinyal pada basis adalah akibat adanya hubungan bolak-balik.



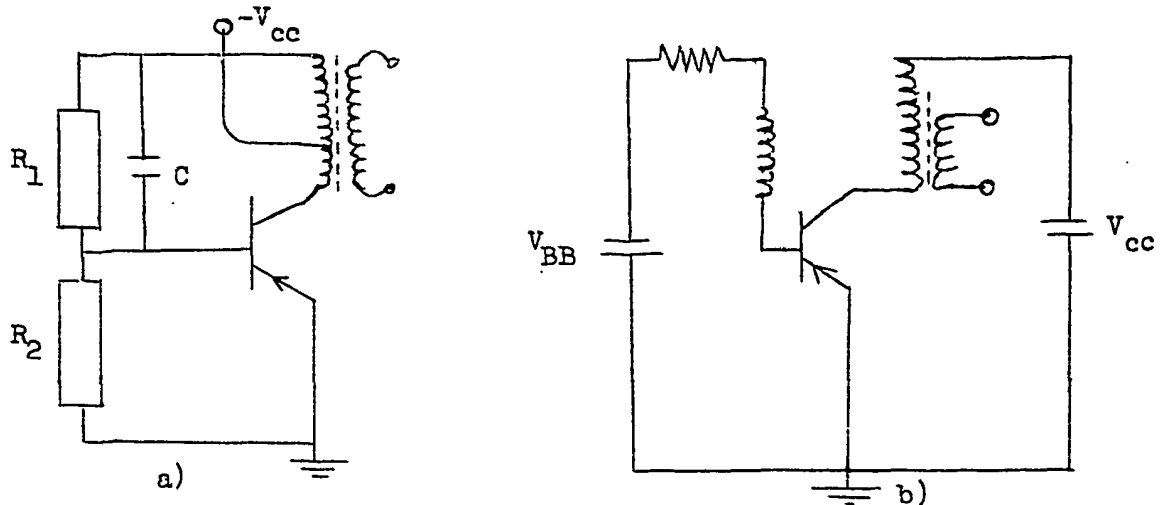
Gambar 12. Transistor sebagai generator pulsa

Bila terjadi perubahan dari kedudukan "OFF" ke kedudukan "ON" maka akibat arus kolektor pada gulungan transformator II akan naik dengan tiba-tiba sehingga timbul GGL pada gulungan tersebut. Pada saat arus turun GGL pada gulungan II juga timbul dengan arah tegangan berlawanan

Blocking oscillator

Blocking oscillator dapat memberi pulsa empat persegi. Untuk

mendapat power yang besar maka *output* dari osilator dapat diperkuat oleh suatu power amplifier. Blocking oscillator yang dikerjakan dalam laporan ini mempunyai rangkaian seperti pada Gb. 13a) dan dapat disederhanakan seperti Gambar 13b). Oleh tegangan parasikap V_{BB} transistor



Gambar 13. Blocking oscillator.

akan dilalui arus sehingga transistor jenuh. Pada gulungan transformator yang dihubungkan dengan kolektor akan timbul tegangan. Bila banyak lilitan N maka besar tegangan sesaat adalah :

$$e = N \frac{d\phi}{dt} = N \frac{d\phi}{di} \cdot \frac{di}{dt}$$

dapat ditulis

$$e = L \frac{di}{dt}$$

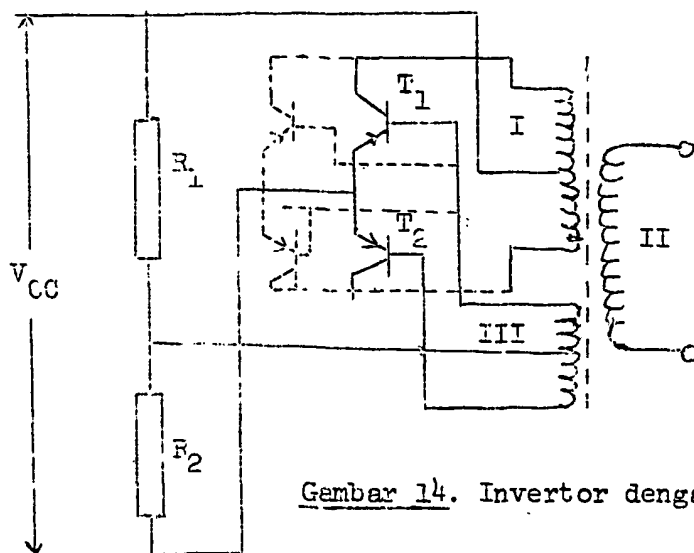
dimana L besar induktans dari transformator. Bila transistor jenuh maka

$e = V_{cc}$, dimana V_{cc} besar tegangan sumber daya.

INVERTOR

Invertor yaitu suatu sistim terdiri dari satu atau beberapa

transistor yang dapat merubah tegangan searah menjadi bolak-balik frekuensi tinggi. *Outputnya* dapat disearahkan dengan menggunakan dioda dan filter. Tegangan *output* dapat juga ditingkatkan hingga beberapa kali besarnya dengan menggunakan susunan dioda dan kapasitor yang disebut voltage multiplier. Dengan menggunakan transistor, inverter dapat memberi power hingga beberapa ratus watt, sedang dengan thyristor besar tenaga yang diperoleh dapat mencapai beberapa kilowatt. Transistor inverter dengan dua transistor ditunjukkan pada Gambar 14. Apabila transistor yang satu berubah kedudukan dari "OFF" kedudukan "ON" maka transistor kedua berubah kedudukan dengan arah sebaliknya. Oleh karena arus kolektor transistor T₁ mengalir pada setengah trafo berlawanan dengan



Gambar 14. Inverter dengan dua transistor

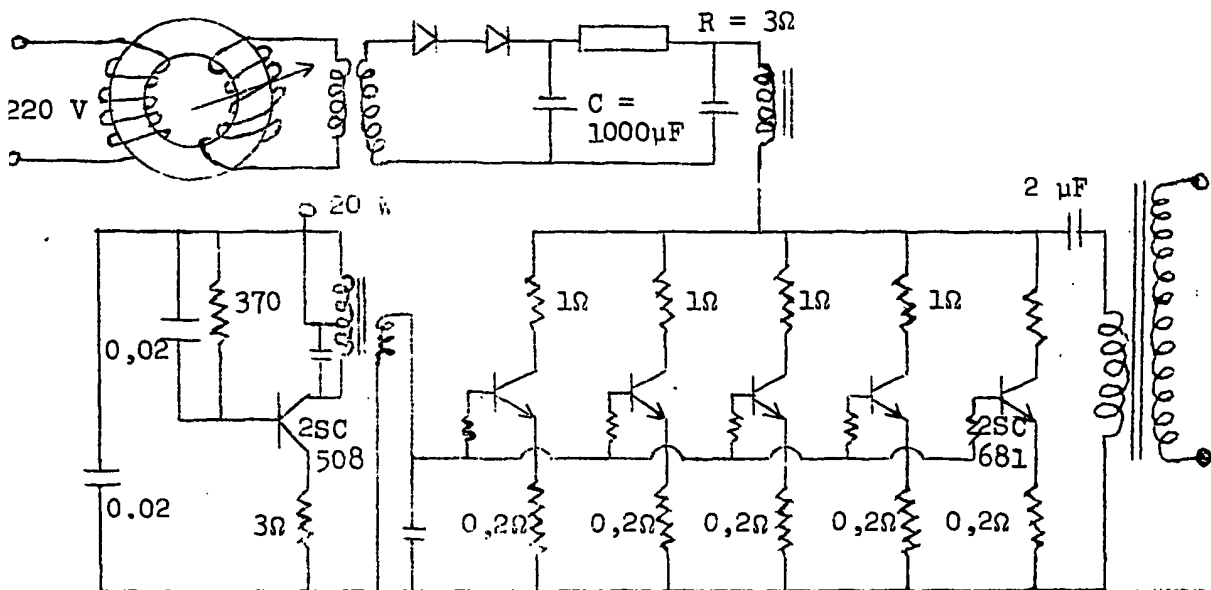
setengah lainnya, maka akibat kedua proses ini akan terinduksi GGL pada gulungan II dengan arah yang sama, sehingga boleh dikatakan transformator setiap saat berfungsi sebagai penjumlah dua proses. Untuk memper-

oleh daya yang lebih besar pada setiap cabang dapat dipasang lagi dua transistor (pada gambar merupakan garis putus-putus) atau lebih.

Teras transformator sebaiknya menggunakan ferrit oleh karena dengan bahan ini besar frekwensi dapat diperoleh hingga beberapa ribu perdetik, sehingga bila diperlukan kapasitor sebagai filter penyearah, cukup dengan kapasitens kecil.

VI. GENERATOR PULSA AKSELERATOR PUSLIT GAMA

Power oscillator yang merupakan generator pulsa untuk voltage multiplier Cockroft Walton terdiri dari suatu low power oscillator dan power amplifier. Besar tegangan puncak *output* osilator dapat diatur. Ini dilakukan dengan merubah besar tegangan sumber daya dari power amplifier yang disupply oleh suatu variak. Dengan memutar variak ini secara remote controle maka besar tegangan D.C dari generator Cockroft

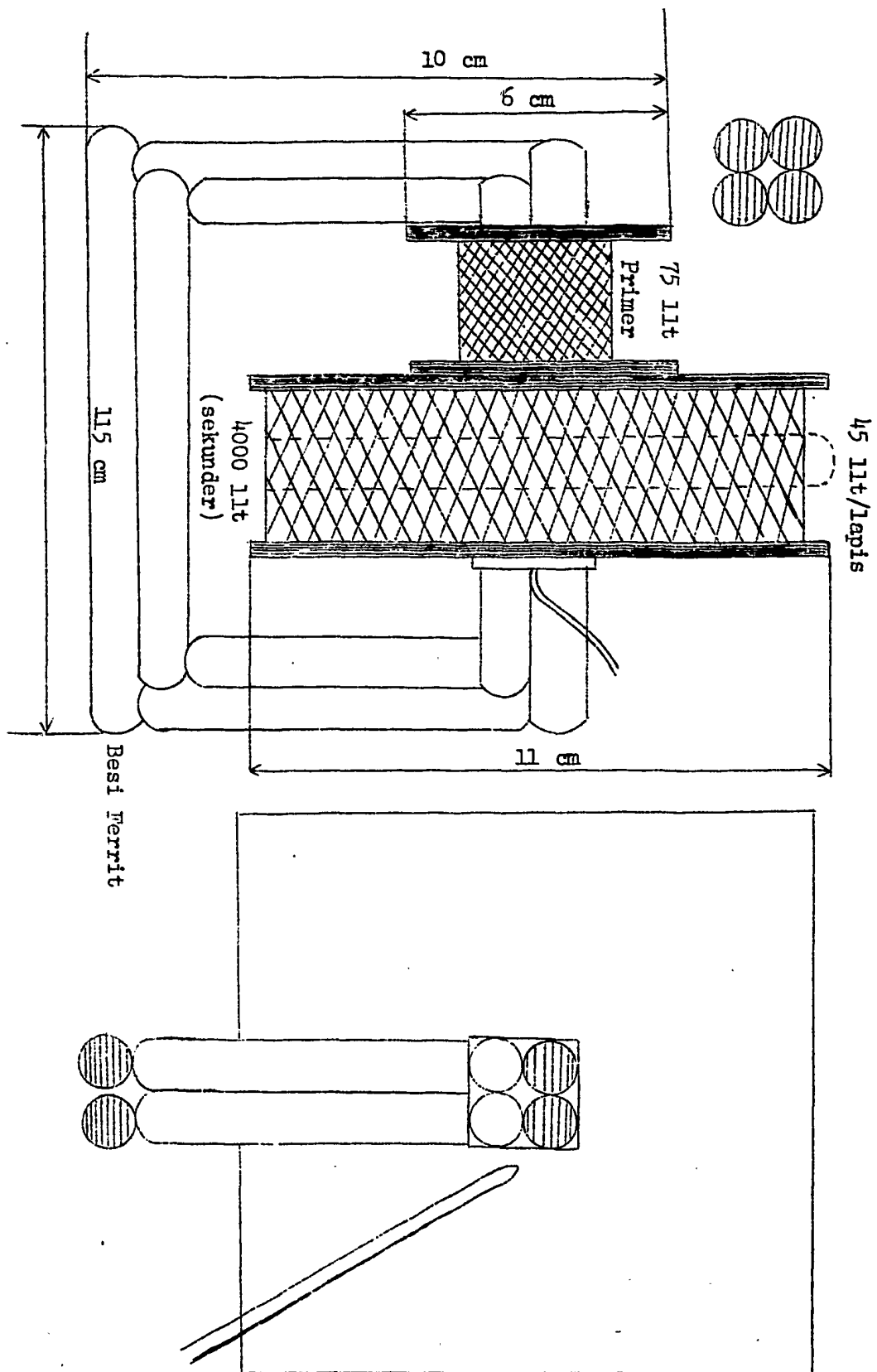


Gambar 15. Power oscillator buat input generator tegangan tinggi

Walton juga dapat divariasasi. Oscillator merupakan suatu blocking oscillator menggunakan transistor 2 SC 508. Power amplifier terdiri dari 5 transistor tipe 2 SC 681 masing-masing mampu dengan arus 5 amper. Kolektor kelima transistor tersebut dihubungkan dengan lilitan primer trafo tegangan tinggi melalui suatu kapasitor 2 μ F.

Transformator tegangan tinggi

Trafo menggunakan teras, bentuknya empat persegi dibuat dari ferrit antena radio transistor. Teras terdiri dari empat ferrit disusun menjadi satu dengan menggunakan perekat araldit. Pada gambar ditunjukkan teras trafo tersebut untuk tegangan 40 kV, frekuensi 10 kHz. Banyak gulungan primer $N_1 = 70$ lilitan diameter kawat $\phi = 0,35$ mm. Lilitan sekunder $N_2 = 4000$ lilitan, diameter $\phi = 0,2$ mm. Isolasi lilitan tipe TALIKOTA mampu untuk tegangan 7000 volt.



Gambar 16. Transformator Tegangan Tinggi

VII. TEGANGAN TINGGI PUSLIT GAMA

Sumber tegangan tinggi Puslit Gama merupakan *air insulated* dapat bekerja dalam udara terbuka. Generator tersebut berdiri tegak di atas shasis power oscillator. Kolom dibuat dari tiga buah pipa pralon tingginya 145 cm, diameternya 6 cm. Semua kapasitor dan dioda tegangan tinggi dipasang pada kolom ini, disusun menjadi suatu untai voltage multiplier.

Elektroda dibuat dari lembaran kuningan tebalnya 1 mm, ditempa hingga berbentuk kue donat dengan diameter irisan 30 cm. Kapasitor-kapasitor dibuat sendiri dengan plastik sebagai dielektrikannya. Kapasitor ini merupakan kapasitor lempeng dengan foil grenjeng sebagai elektroda, digulung hingga merupakan suatu torak. Sebagai pembungkus digunakan pipa pralon, kedua ujungnya ditutup dengan lempeng seng, sehingga bentuknya merupakan suatu mangkok. Gulungan kapasitor dimasukkan ke dalam mangkok tersebut, salah satu foil dikontakkan dengan tutup seng yang atas dan foil lainnya dengan seng bawah sehingga kedua lempeng tersebut dapat digunakan sebagai kaki kapasitor.

Sebagai penyearah digunakan dioda tipe EDMFO 3 EI-30 B. Direncanakan juga untuk menggunakan dioda tipe BYX 35 buatan Philips yang mampu dengan arus 50 ma, tegangan dadal 35.000 volt. Dengan demikian tegangan tinggi Puslit Gama akan dapat digunakan untuk akselerator, dengan flux partikel yang cukup kuat.

VIII. KESIMPULAN DAN RENCANA PENGEMBANGAN

Tegangan tinggi 300 kV buat akselerator tenaga rendah, dimana arusnya kecil adalah relatif murah dengan menggunakan *solid state*. Suatu kesukaran yang sesungguhnya dapat diatasi adalah hal memperoleh transistor yang dayanya besar dan tegangan dadalnya cukup tinggi.

Akan diusahakan untuk menggunakan thyristor sebagai komponen generator pulsa.

Kini sedang diadakan suatu rencana untuk membuat trafo tegangan tinggi dengan frekuensi orde kilocycle. Dengan demikian arus akselerator akan dapat dinaikkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. J.D Craggs dan J.M., "*High voltage Laboratory Technique*", Mc. GRAW. HILL BOOK COMPANY, 1962.
2. M.S. Livingston, Y.P. Blewett, "*Particle Accelerators*" BUTTER WORTS SCIENTIFIC PUBLICATIONS 1954.
3. Sumihar Hutapea, "*Pembuatan Partikel di Puslit Gama*", Seminar Fisika, Instrumentasi Nuklir dan produksi Isotop.
4. J.A. Walston, J.R. Miller, "*Transistor Circuit Design*", Mc Graw-Hill Book Company, Inc. Copyright 1964.