

OSILATOR BERBASIS GALLIUM ARSENIDE (GaAs)

Chandra, Andreas Ardian Febrianto

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer – UKSW

Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga 50711

INTISARI

Gallium Arsenide (GaAs) merupakan bahan semikonduktor majemuk. Penggunaan GaAs sebagai salahsatu bahan untuk semikonduktor sudah diteliti sejak lama, hanya saja penggunaan dan produksi semikonduktor berbahan GaAs yang ada saat ini masih sangat terbatas. Beberapa keuntungan penggunaan GaAs dibandingkan dengan Silikon (Si) adalah semikonduktor berbahan GaAs mempunyai kecepatan yang lebih cepat dibandingkan dengan Si, semikonduktor berbahan GaAs bisa beroperasi untuk frekuensi *microwave* sedangkan semikonduktor berbahan Si tidak bisa secara efektif berfungsi, semikonduktor berbahan GaAs mempunyai jangkauan temperatur kerja yang lebih lebar. Peranti - peranti dengan bahan GaAs dapat menoleransi jangkauan temperatur antara – 200⁰ C hingga 200⁰ C, dan hambatan jenis (*resistivity*) intrinsik yang lebih tinggi sehingga dapat memudahkan isolasi dari bermacam-macam peranti dalam satu landasan. Komponen elektronika dioda *Gunn* dan dioda *IMPATT* yang berbasis GaAs digunakan dalam perancangan osilator berbasis GaAs. Osilator dioda *Gunn* dan dioda *IMPATT* mampu bekerja pada fekuensi *microwave* dengan konsumsi daya yang rendah.

Kata kunci : osilator, gallium arsenide

1. PERANCANGAN OSILATOR BERBASIS GAAS

Dalam merancang osilator, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut.

- Stabilitas frekuensi pada berbagai variasi tegangan, temperatur, dan pembebanan osilator (*load pulling*).

- Keluaran daya yang cukup untuk berbagai keperluan.
- Derau yang rendah pada amplitudo, phase, dan modulasi frekuensi.
- *Variable tuning*, termasuk didalamnya kontrol tegangan dan penalaan mekanis.
- Kapabilitas untuk melakukan modulasi pada amplitudo (AM), frekuensi (FM), atau *phase* (PM).
- Membutuhkan untai yang sederhana.

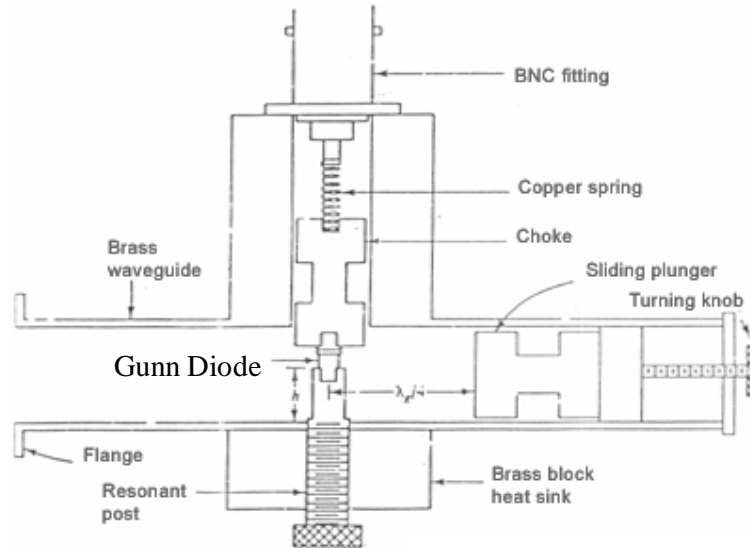
Stabilitas frekuensi yang baik dan derau yang rendah sangat diperlukan untuk menghasilkan *high-Q resonator* pada untai osilator. Resonator harus mempunyai frekuensi resonansi yang tidak sensitif terhadap variasi temperatur.

Tegangan osilator bervariasi tergantung pada tegangan bias *dc* yang digunakan. Efek ini dikenal dengan *oscillator pushing* dan terkadang dapat digunakan sebagai salah satu keuntungan suatu osilator dalam melakukan *fine-tune* pada frekuensi pada celah yang sempit.

Frekuensi osilasi juga ditentukan oleh frekuensi resonansi masukan dan keluaran dalam suatu jaringan. Konsekuensinya, perubahan yang terjadi pada impedansi beban yang dihubungkan dengan osilator akan menghasilkan perubahan frekuensi osilator. Efek ini, yang dikenal dengan *oscillator load pulling* atau pembebanan osilator, biasanya tidak diharapkan. Efek ini bisa diminimalkan dengan melakukan *loose coupling* antara osilator dengan beban. Kekurangan penggunaan *loose coupling* adalah daya keluaran yang dihasilkan akan menjadi lebih kecil dan efisiensi osilator akan berkurang. *Oscillator pulling* dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran perubahan frekuensi osilator sebagai fungsi sudut fase koefisien beban refleksi (*load reflection coefficient*).

1.1. Perancangan Osilator Dioda Gunn

Osilator dioda *Gunn* banyak digunakan sebagai lokal osilator pada radar dan sebagai alat transmisi untuk radar daya rendah seperti radar polisi dan alarm pendeteksi (*intrusion alarm*). Peralatan ini biasanya berbobot ringan, kompak, dan mempunyai struktur resonator yang *mechanically tuned waveguide*.



Gambar 1. Gambar *Gunn-Diode Oscillator* [3].

Impedansi dioda dalam melakukan suatu perancangan osilator dioda *Gunn* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Z_d = R_d + jX_d \tag{1}$$

Sedangkan impedansi beban untai diekspresikan sebagai berikut.

$$Z_l = R_l + jX_l \tag{2}$$

Agar terjadi osilasi, impedansi beban untai dan impedansi dioda harus sama dan reaktansi diantara kedua bagian ini harus sama. Ini berarti

$$R_d = R_l \tag{3}$$

$$X_l = - X_d \tag{4}$$

Sedangkan tinggi *resonant post* h adalah kurang dari $\frac{\lambda_0}{4}$ dan h dapat dicari

dengan rumus:

$$h \approx \frac{\lambda_0}{4} - \frac{d-r}{2\ln(2d/r)} \tag{5}$$

dengan:

$\lambda_0 = \text{free-space wavelength};$

$d = \text{jarak antara post surface dengan side wall cavity};$ dan

$r = 0,254 \text{ cm}$ yaitu radius post untuk 10 GHz.

Reaktansi untai (*short-circuit reactance*) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Z_{sh} = jZ_0 \tan(\beta_g l) \quad (6)$$

dengan:

$$Z_0 = \frac{H}{W} \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r} \sqrt{1 - (f_c / f)^2}} \quad (7)$$

$\epsilon_r = \text{konstanta dielektris relatif untuk medium};$

$\beta_g = \text{konstanta phase di dalam pandu gelombang};$

$l = \lambda_g / 2 = \text{jarak antara plane resonant post dan plane short-circuit};$

$\lambda_g = \text{panjang gelombang di dalam pandu gelombang};$

$H = \text{tinggi pandu gelombang};$

$W = \text{lebar pandu gelombang};$

$f = \text{frekuensi resonansi};$ dan

$f_c = \text{frekuensi cutoff}.$

Dikarenakan $\beta_g l$ kurang lebih sama dengan π radian, maka

$$\begin{aligned} \tan(\beta_g l) &= -\tan(\pi - \beta_g l) \\ &\approx \beta_g l - \pi \end{aligned} \quad (8)$$

Sehingga akhirnya didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$Z_{sh} = jZ_0 (\beta_g l - \pi) \quad (9)$$

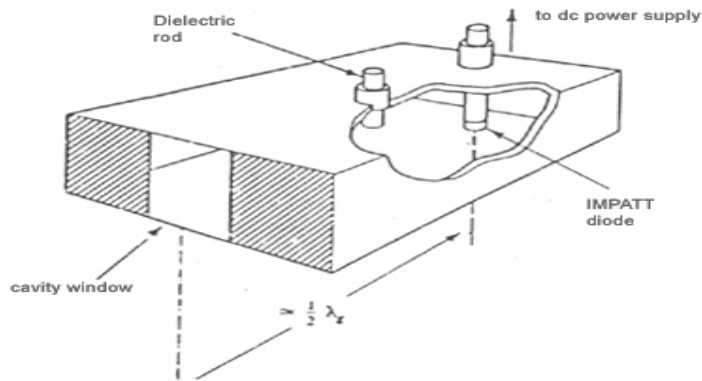
1.2. Perancangan Waveguide-Cavity IMPATT Oscillator

Waveguide-Cavity IMPATT Oscillator dapat dibuat dengan menggunakan beberapa konfigurasi yang berbeda, sebagai berikut.

1. Waveguide-Cavity Oscillator

Untuk menghasilkan keluaran waveguide pada osilator IMPATT, dapat digunakan waveguide cavity seperti tampak pada Gambar 2 di bawah ini. Jendela yang terbuka berfungsi sebagai beban. Frekuensi osilasi dapat ditambah dengan memasukkan batang dielektrik atau batang logam ke dalam rongga (cavity).

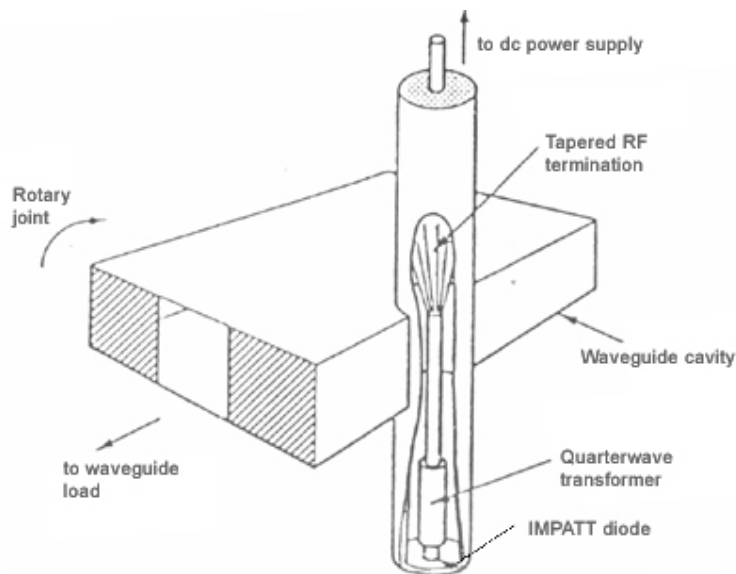
Penggunaan batang dielektrik lebih dianjurkan karena efek *waveguide cutoff* batang dielektrik itu sendiri dapat digunakan untuk menjaga kemungkinan kebocoran RF (*RF leakage*).



Gambar 2. Untai *Waveguide-Cavity Oscillator* [3].

2. *Single-Tuned Single-Device Oscillator*

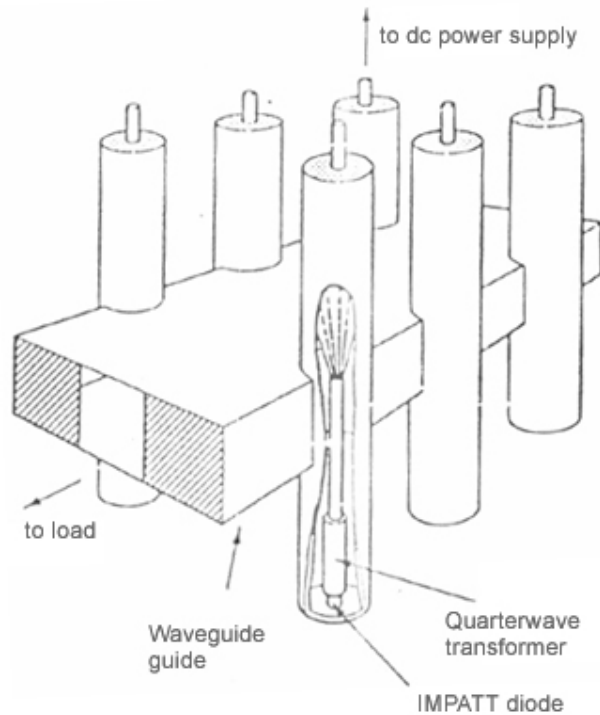
Osilator dengan karakteristik yang lebih baik dapat dibuat dengan melakukan penambahan untai elektronika sederhana seperti tampak pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. *Single-Tuned Single-Device Oscillator* [3].

3. *Single-Tuned Multiple-Device Oscillator*

Pada osilator dengan sumber tegangan tidak dapat dilakukan oleh satu peralatan, maka dapat digunakan kombinasi beberapa sumber tegangan dengan melakukan kombinasi untai seperti tampak pada Gambar 4. *Coaxial line* terhubung dengan *waveguide cavity* yang memiliki intensitas medan magnet maksimum.

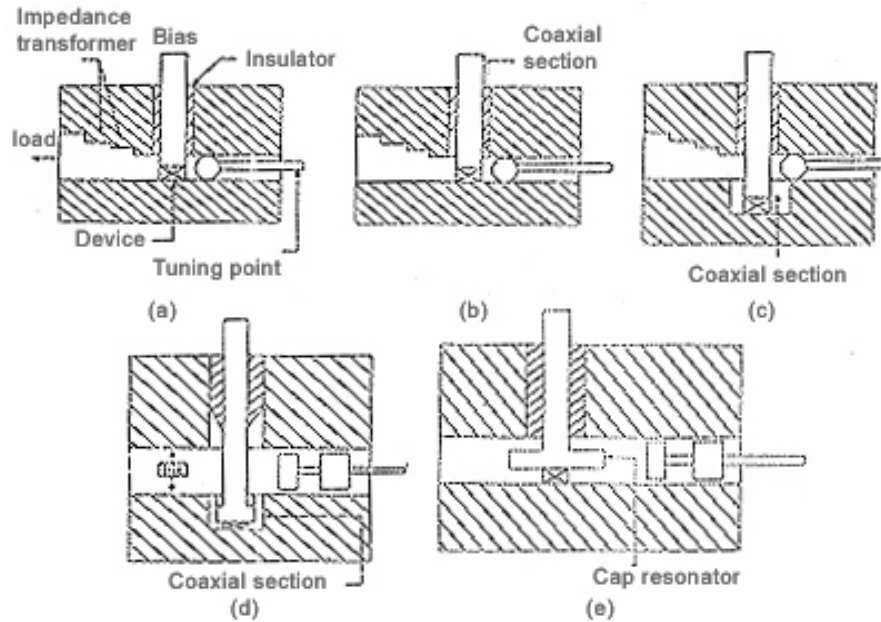


Gambar 4. Untai *Single-Tuned Multiple-Device Oscillator* [3].

2. UNTAI OSILATOR BERBASIS GAAS

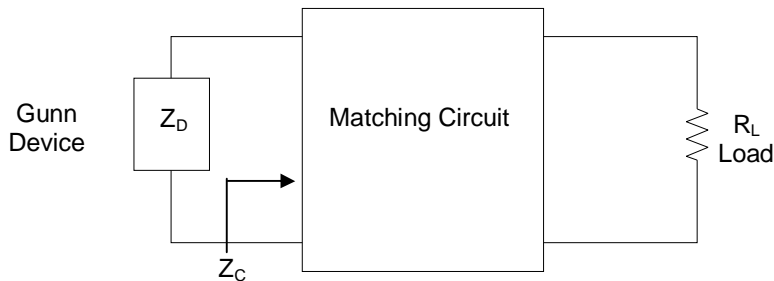
2.1. Untai Osilator Dioda *Gunn*

Osilator berbasis dioda *Gunn* dapat dibuat dengan menggunakan *coaxial line*, *waveguide*, *micro strips* pada kisaran frekuensi 8 – 94 GHz. Pada Gambar 5 di bawah ini dapat dilihat beberapa teknik yang secara umum digunakan untuk menghubungkan dioda dengan untai *waveguide*.



Gambar 5. Untai *Waveguide* untuk Peralatan Berbasis Transfer Elektron [7].

Analisis teoritis dan eksperimen tentang *waveguide mounted Gunn diode* dilakukan oleh Eisenhart (1971). Untai sederhana untuk osilator berbasis dioda *Gunn* ditunjukkan oleh Gambar 6 di bawah ini.



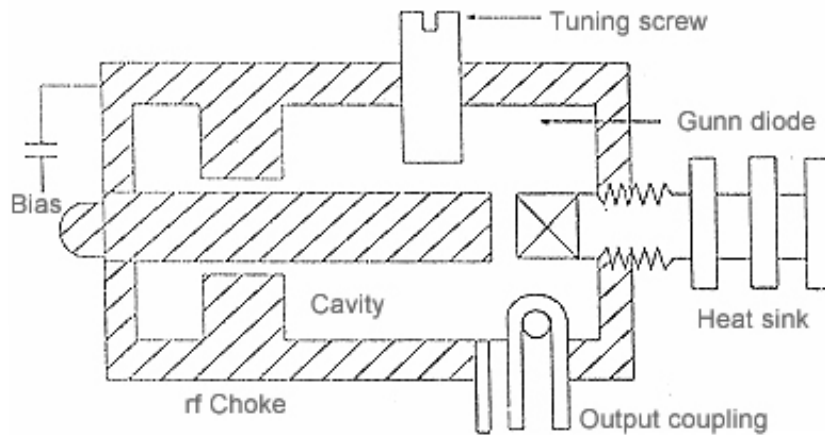
Gambar 6. Untai Sederhana Osilator Berbasis Dioda *Gunn* [7].

Kondisi osilasi dirumuskan dengan

$$| \operatorname{Re} (Z_D) | > \operatorname{Re} (Z_C) \text{ dan } | \operatorname{Im} (Z_D) | > \operatorname{Re} (Z_C) \tag{10}$$

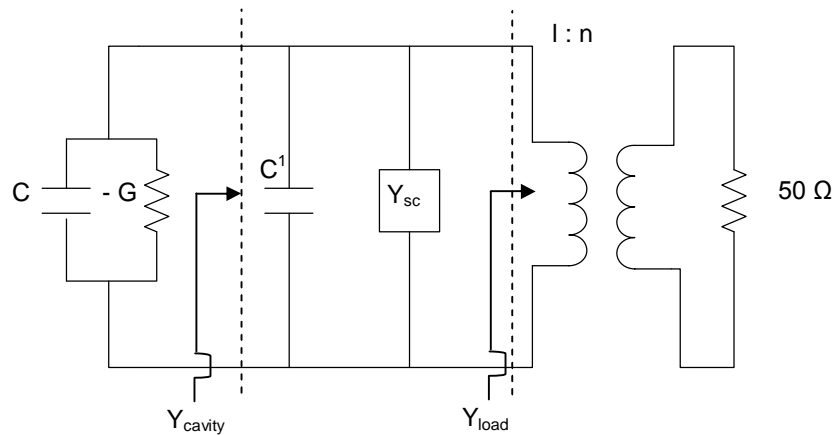
dengan Z_D dan Z_C adalah impedansi peralatan dan impedansi untai.

Untai *coaxial cavity* osilator berbasis dioda *Gunn* dapat diilustrasikan secara skematis seperti tampak pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Osilator Dioda *Gunn* dengan Coaxial Cavity [7].

Dioda *Gunn* dihubungkan pada salah satu ujung rongga yang langsung terhubung dengan konduktor tengah *coaxial line*. Keluaran diambil melalui hubungan *probe* secara induktif atau kapasitif dan posisinya dalam resonator menentukan besar impedansi beban untai. Panjang *cavity* dan impedansi menentukan frekuensi osilasi yang terjadi. Untai setara osilator *coaxial* berbasis dioda *Gunn* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Untai Setara Osilator *Coaxial* Berbasis Dioda *Gunn* [7].

Didefinisikan B dan G adalah *susceptance* dan *conductance* dari peralatan dan rongga sirkuit. Kondisi osilasi diberikan dengan persamaan berikut.

$$B_{\text{device}} + B_{\text{circuit}} = 0 \quad (11);$$

$$G_{\text{device}} + G_{\text{circuit}} = 0 \quad (12)$$

Dari untai setara dapat dituliskan

$$j\omega c - G + j\omega c^1 + Y_{sc} + Y_l = 0 \quad (13)$$

dimana

$$Y_{sc} = -j \cot \left[\frac{2\pi L}{\lambda_0} \right] \quad (14)$$

dengan L merupakan panjang rongga (*cavity*).

Dimana terdapat dua kondisi osilasi, yaitu:

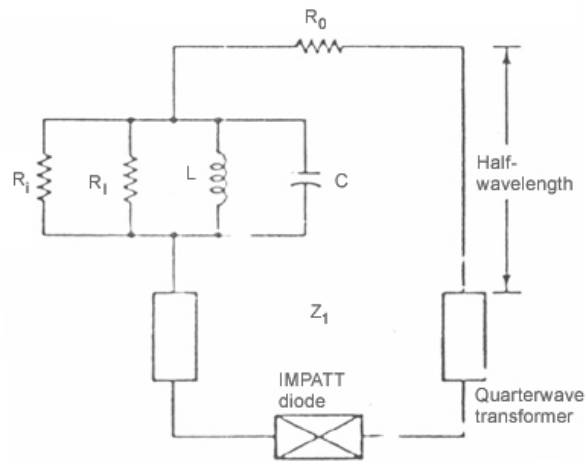
$$\omega c + \omega c^1 - \cot \left[\frac{2\pi L}{\lambda_0} \right] + \text{Im}(Y_L) = 0 \quad (15)$$

dan

$$-G + \text{Re}(Y_L) = 0 \quad (16)$$

2.2. Untai Waveguide-Cavity IMPATT Oscillator

Dioda *IMPATT* dihubungkan pada salah satu ujung *coaxial line* yang terhubung dengan *waveguide cavity*. *Cavity* kemudian dihubungkan dengan beban melalui *rotary point*. Sementara itu, *quarterwave transformer* terhubung antara dioda dan *coaxial line*. Ujung *coaxial line* terhubung dengan *RF* dan tegangan *dc* terhubung melalui konduktor yang ada di tengah. Untai sederhana untuk osilator berbasis dioda *IMPATT* tampak pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Untai Setara *Single-Tuned Single-Device Oscillator* [3].

Dari untai setara di atas diperoleh impedansi resonan untai yaitu:

$$R_r = \frac{R_0 + R_i R_L}{R_i + R_L} \quad (17)$$

di mana, R_0 = terminal Coaxial;

R_i = rugi-rugi rongga dalam; dan

R_L = perubahan resistansi beban antara rongga dan *rotary joint*.

3. KARATERISTIK OSILATOR BERBASIS GAAS

Karakteristik suatu osilator dapat diketahui dengan melakukan suatu pengujian terhadap kinerja osilator tersebut. Pengujian yang dilakukan antara lain sebagai berikut.

1. Pengujian kondisi osilasi.

Merupakan pengujian standar yang dilakukan terhadap semua jenis osilator.

2. Pengujian frekuensi osilasi.

Merupakan pengujian yang dilakukan pada osilator yang dirancang khusus untuk beroperasi pada frekuensi tertentu.

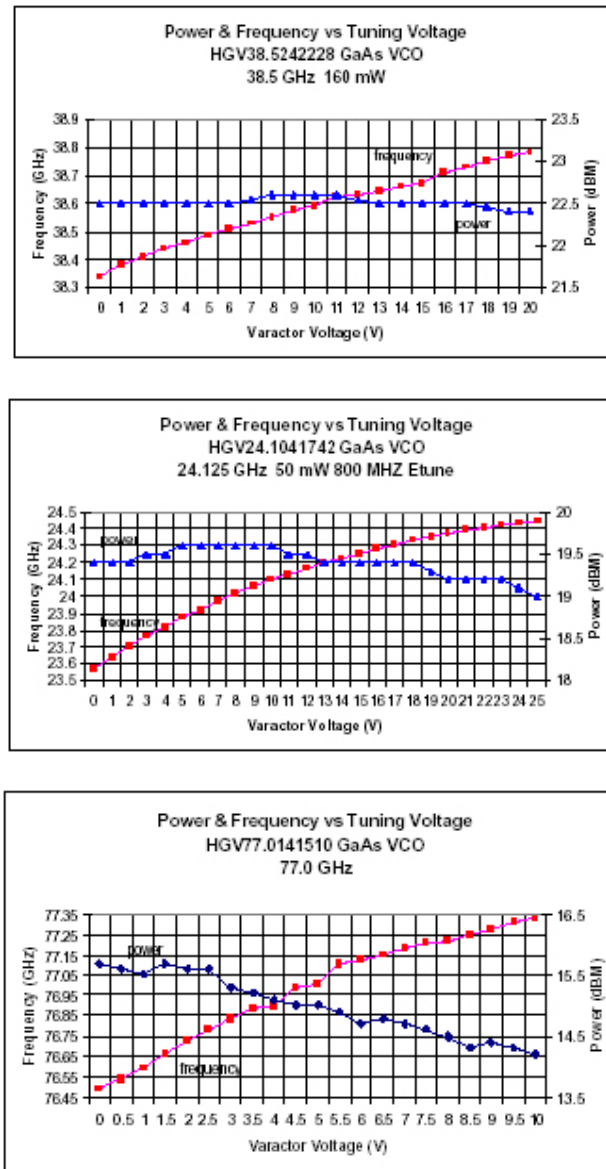
3. Pengujian frekuensi *bandpass*

Merupakan pengujian yang dilakukan pada osilator yang dirancang untuk beroperasi pada frekuensi *broadband*.

Ditinjau dari penggunaan dioda dalam osilator, osilator berbasis dioda *Gunn* mempunyai kelebihan yaitu derau pada frekuensi modulasi (*FM*) yang lebih rendah dibandingkan osilator berbasis dioda *IMPATT*. Di lain pihak, osilator berbasis dioda *IMPATT* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan daya keluaran yang dihasilkan juga lebih tinggi bila dibandingkan dengan osilator berbasis dioda *Gunn*. Selain itu, dikarenakan kedua jenis osilator ini merupakan peralatan yang bersifat *negative-resistance*, maka baik osilator yang berbasis dioda *Gunn* maupun yang menggunakan dioda *IMPATT* membutuhkan tegangan *dc* yang kecil untuk menghasilkan resistansi negatif.

Kisaran frekuensi kerja suatu osilator ditentukan oleh mekanisme yang terjadi pada peralatan yang digunakan. Untuk osilator berbasis dioda *Gunn* atau *IMPATT*, daya keluaran yang dihasilkan bisa mencapai 100 mW pada frekuensi 100 GHz. Pada mode *limited-space-charge (LSA)*, osilator berbasis dioda *Gunn* dapat menghasilkan efisiensi sekitar 20% atau lebih.

Terabeam melaporkan bahwa untuk osilator berbasis dioda *Gunn* produksi mereka dapat beroperasi pada kisaran 7 – 110 GHz dengan daya keluaran berkisar antara 30 mW – 400 mW. Sementara itu, Millitech melaporkan bahwa osilator *Gunn* produksi mereka beroperasi pada kisaran frekuensi 18 – 170 GHz dengan daya keluaran berkisar dari beberapa miliwatt sampai 400 mW pada frekuensi rendah. Sedangkan efisiensi yang dilakukan bisa sampai 40%. Pada Gambar 10 di bawah ini dapat dilihat beberapa hasil pengujian untuk melihat unjuk kerja osilator berbasis dioda *Gunn*.



Gambar 10. Karakteristik Osilator Berbasis Dioda Gunn [3].

4. KESIMPULAN

Bahan semikonduktor yang memanfaatkan GaAs sebagai salah satu unsur penyusunnya adalah dioda Gunn dan dioda IMPATT. Dioda Gunn digunakan sebagai *Transferred Electron Oscillators (TED)* dengan menggunakan resistansi negatif yang dimiliki oleh Gallium Arsenide. Sedangkan dioda IMPATT menggunakan pasangan elektron-hole yang dibentuk pada daerah dengan

berenergi tinggi sebagai dampak proses ionisasi yang terjadi. Dalam melakukan perancangan osilator, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah: kestabilan frekuensi pada berbagai variasi tegangan, temperatur, dan *oscillator loading (load pulling)*;keluaran daya yang cukup untuk berbagai keperluan;amplitudo, *phase* dan derau frekuensi modulasi yang rendah;*variable tuning*, termasuk didalamnya kontrol tegangan dan penalaan mekanis;kapabilitas untuk melakukan modulasi pada amplitudo (*AM*), frekuensi (*FM*), atau *phase (PM)*;dan untai yang sederhana. Stabilitas suatu osilator tergantung pada material yang digunakan dalam rongga (*cavity*), yaitu stabilitas reaktansi dioda *Gunn* dan varaktor (jika digunakan). Stabilitas frekuensi dapat ditingkatkan dengan cara: pemilihan material yang tepat untuk bahan dalam rongga;penekanan temperatur mekanis;dan pemilihan dioda *Gunn* yang tepat. Osilator berbasis dioda *Gunn* mempunyai kelebihan yaitu derau pada frekuensi modulasi (*FM*) lebih rendah dibandingkan osilator berbasis dioda *IMPATT*. Osilator berbasis dioda *IMPATT* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan daya keluaran yang dihasilkan juga lebih tinggi bila dibandingkan dengan osilator berbasis dioda *Gunn*. Osilator berbasis GaAs, baik osilator yang berbasis dioda *Gunn* maupun berbasis dioda *IMPATT*, membutuhkan tegangan *dc* yang kecil untuk menghasilkan resistansi negatif.

DAFTAR PUSTAKA

1. Collin, Robert E., *Foundations for Microwave Engineering*, Mac Graw-Hill, New York, 1992
2. Harrold, S.J., *An Introduction to GaAs IC Design*, Prentice Hall International, 1993
3. Liao, Samuel Y, *Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1987
4. Liao, Samuel Y, *Microwave Device and Circuit*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1980
5. Long, Stephen I dan Steven E. Butner, *Gallium Arsenide Digital Integrated Circuit Design*, Mc Graw Hill Book Company, 1990

6. Roy, Sitiesh K. & Mitra, Monojit, *Microwave Semiconductor Devices*, Prentice Hall of India, New Delhi, 2003
7. Soares, Robert, *GaAs MESFET Circuit Design*, Artech House, Norwood, 1988
8. Williams, Ralph, *Modern GaAs Processing Methods*, Artech House, Norwood, 1990