

ρ' adalah jarak antara titik fokus O ke titik A (lihat gambar 8.2). Titik A adalah titik R (terletak di atas permukaan parabola) yang diproyeksikan ke bidang apertur. Untuk bidang simetris putar (gambar 8.1), maka jarak bisa digantikan dengan koordinat x_f dan y_f sehingga

$$x_f^2 + y_f^2 = 4F \cdot (F - z_f)$$

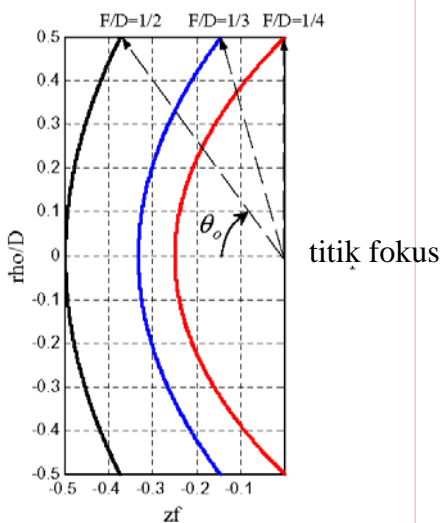
Persamaan di atas menggambarkan suatu struktur geometri yang terbentang tak terhingga. Struktur parabola bisa dibatasi dengan mendefinisikan diameter maksimalnya, yaitu D .

Untuk setiap jarak ρ' bisa dihitung jarak titik R yang berada di atas parabola itu (titik yang terletak di atas sebuah persamaan lingkaran) ke titik fokus O, yaitu r_f dan sudut ϑ_f yang dibentuk oleh sumbu z dan garis penghubung OR. Pasangan koordinat (ρ', z_f) dinamakan pasangan segiempat, dan pasangan (r_f, ϑ_f) sebagai pasangan polar. Dengan hubungan (lihat gambar kanan di atas)

$$r_f^2 = \rho'^2 + z_f^2 = 4F \cdot (F - z_f) + z_f^2$$

Dan hubungan koordinat polar bisa dituliskan dengan

$$r_f = \frac{2F}{1 + \cos \vartheta_f} = \frac{F}{\cos^2 \left(\frac{\vartheta_f}{2} \right)}$$



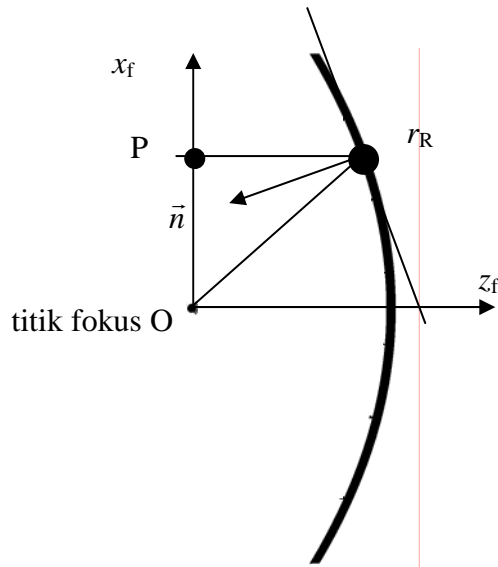
Gambar 8.3

Jadi D dan F adalah dua besaran karakteristik untuk sebuah parabola, dan seringkali sebuah parabola dispesifikasikan dengan D (diameternya) dan perbandingan F/D .

Jika perbandingan F/D mendekati tak hingga, parabola ini menjadi datar. Gambar di bawah menampilkan geometri dari parabola dengan parameter F/D . Untuk nilai $F/D=0.25$ ujung dari reflektor (reflector rim) berada pada bidang apertur.

Sudut yang dibentuk oleh garis penghubung titik fokus dan reflector rim dengan garis datar dihitung dengan hubungan

$$\theta_0 = 2 \arctan\left(\frac{1}{4F/D}\right)$$



Gambar 8.4

Pada antena reflektor, feed/sumber pemancar primer diletakkan pada titik fokus dan iluminasinya diarahkan ke reflektor parabola, sehingga jika berkas iluminasi (ray) mengenainya, berkas ini akan direfleksikan sesuai dengan hukum Snellius:

Sudut datang = sudut pantul

Berkas iluminasi direfleksikan pada titik pantul r_R (x_R, y_R, z_R), yang terletak pada bidang parabola, dengan

$$x_R^2 + y_R^2 = 4F \cdot (F - z_R), \quad \text{atau}$$

$$z_R = F - \frac{x_R^2 + y_R^2}{4F}$$

Untuk memudahkan pengamatan, tanpa mengurangi generalisasi dari problem yang dibahas, kita batasi untuk dua dimensi dengan $y_R = 0$, maka

$$z_R = F - \frac{x_R^2}{4F}$$

Berkas datang mempunyai arah Or_R : $\vec{v} = x_R \vec{a}_x + \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right) \vec{a}_z$, atau sebagai vektor

satuan,

$$\vec{a}_v = \frac{x_R \vec{a}_x + \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right) \vec{a}_z}{\sqrt{x_R^2 + \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right)^2}} = \frac{x_R \vec{a}_x + \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right) \vec{a}_z}{\sqrt{x_R^2 + F^2 + \frac{x_R^4}{16F^2} - \frac{1}{2}x_R^2}} = \frac{x_R \vec{a}_x + \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right) \vec{a}_z}{\sqrt{\left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2}}$$

$$\vec{a}_v = \frac{x_R \vec{a}_x + \left(F - \frac{x_R^2}{4F} \right) \vec{a}_z}{\left(F + \frac{x_R^2}{4F} \right)}$$

dan berkas pantul pada bidang $z = 0$, dengan kordinat x_p yang akan ditentukan besarnya, sehingga

$$\vec{v}' = (x_p - x_R) \vec{a}_x - z_R \vec{a}_z = (x_p - x_R) \vec{a}_x - \left(F - \frac{x_R^2}{4F} \right) \vec{a}_z,$$

atau sebagai vektor satuan

$$\vec{a}_v = \frac{(x_p - x_R) \vec{a}_x - \left(F - \frac{x_R^2}{4F} \right) \vec{a}_z}{\sqrt{(x_p - x_R)^2 + \left(F - \frac{x_R^2}{4F} \right)^2}} = \frac{(x_p - x_R) \vec{a}_x - \left(F - \frac{x_R^2}{4F} \right) \vec{a}_z}{\sqrt{x_p^2 - 2x_p x_R + \left(F + \frac{x_R^2}{4F} \right)^2}}$$

Reflektor parabola pada titik r_R memiliki bidang normal:

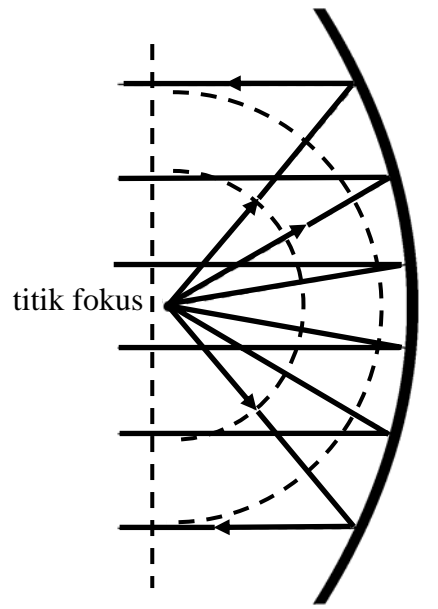
$$\vec{n} = \frac{-\frac{x_R}{2F} \vec{a}_x - \vec{a}_z}{\sqrt{\left(\frac{x_R}{2F} \right)^2 + 1}}$$

Dengan hukum Snellius: $\cos(\text{sudut datang}) = \cos(\text{sudut pantul})$, atau

$$\vec{n} \cdot \vec{a}_v = \vec{n} \cdot \vec{a}_v'$$

Dari perhitungannya akan didapatkan hasil $x_p = x_R$ (perhitungan lengkapnya bisa ditemukan di apendiks 1).

Jadi berkas yang dipancarkan oleh feed primer akan mengenai suatu titik di reflektor, berkas ini akan direfleksikan, sesuai dengan hukum refleksi, ke posisi dengan nilai x yang sama dengan titik refleksi, atau dengan kata lain, berkas ini akan direfleksikan secara paralel. Sehingga setelah berkas-berkas pancaran ini direfleksikan oleh reflektor parabola didapatkan pancaran energi yang paralel, atau didapatkan fasa gelombang yang datar.



Gambar 8.5

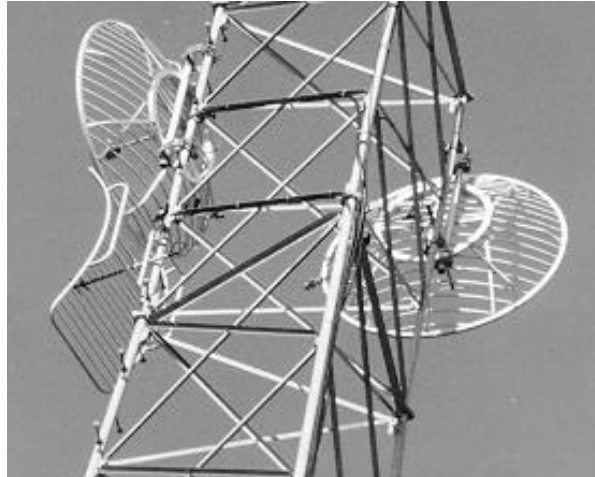
Energi yang dipancarkan oleh feed primer di titik fokus, tanpa keberadaan reflektor parabola, akan berdivergensi, terbagi ke ruang, dengan bentuk fasa yang memiliki bentuk bola. Tetapi dengan keberadaan reflektor, energi pancaran bisa lebih dikonsentrasikan ke arah refleksinya, karena berkas sinyal akan paralel dan tidak menyebar di ruang.

Gambar 8.6 menunjukkan foto sebuah antena parabola dengan beberapa jenis antena horn yang dipergunakan sebagai feed primer, yang akan diletakkan di titik fokus dari antena reflektor tersebut. Mem-posisikan feed ini dilakukan dengan penopangnya ("struts").

Pada foto di sampingnya, terlihat antena parabola yang dimontasi pada sebuah menara. Antena jenis ini sering kali



Gambar 8.6



Gambar 8.7

8.2.2 Metoda Perhitungan Medan Jauh

8.2.2.1 Metoda Optik Fisika (Physical Optics)

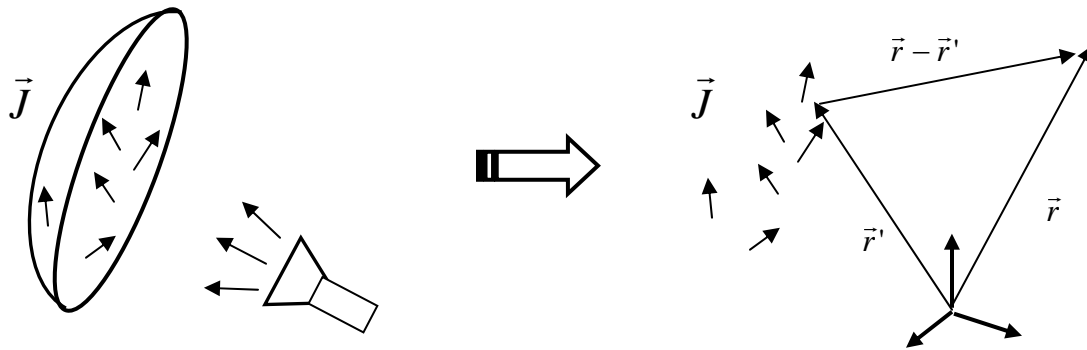
Metoda optik fisika didasarkan pada perhitungan medan pancaran (dengan integrasi) dari suatu struktur arus tertentu, seperti yang biasa kita lakukan selama ini. Problem utama dari metoda ini adalah menemukan arus yang akurat. Arus yang tak akurat akan berimbas pada hasil integrasinya, yaitu medan jauh yang juga tidak akurat.

Tetapi, mendapatkan distribusi arus yang akurat bukanlah suatu yang mudah. Pada metoda optik fisika dilakukan pendekatan sebagai berikut ini:

Bermula dari feeder antena parabola itu, yang seringkali berupa antena horn. Feeder ini merupakan sumber primer yang akan mengirimkan gelombang (medan elektromagnetika) yang akan mengenai reflektor, dengan melakukan pengandaian bahwa medan magnet feeder primer ini tak berubah dengan keberadaan reflektor, maka distribusi arus listrik pada reflektor bisa didekatkan dengan

$$\vec{J} = 2 \cdot \vec{n} \times \vec{H}$$

\vec{n} adalah vektor normal dari reflektor (yang berubah tergantung titik mana yang diamati) dan \vec{H} adalah medan magnet feeder primer pada posisi pengamatan di reflektor (juga berubah tergantung titik mana di reflektor di amati).

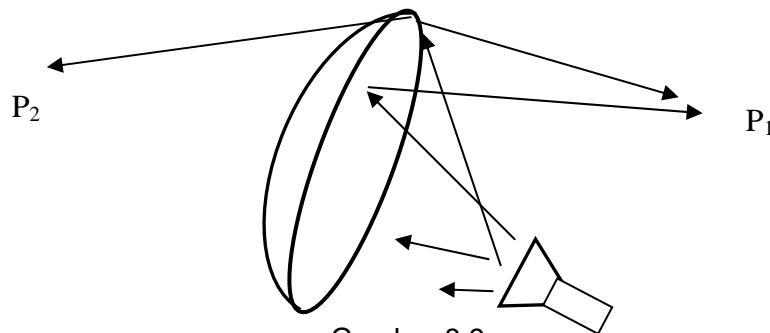


Gambar 8.8

Setelah distribusi arus dikenal, dengan tidak memperhatikan reflektor itu lagi, akan dilakukan integrasi permukaan untuk menghitung medan listrik di medan jauh.

8.2.2.2 Metoda Optik Geometris (Geometrical Optics)

Pendekatan lain untuk melakukan aproksimasi medan jauh dari sebuah antena parabola adalah dengan menggunakan optik geometris, yang mana pancaran dari gelombang elektromagnetika bisa dianggap seperti berkas cahaya, yang dipancarkan, jika berkas ini mengenai suatu struktur, ia bisa direfleksikan dan didifraksikan.



Gambar 8.9

Untuk mencapai titik P_1 berkas elektromagnetika akan merambat setelah mengalami refleksi atau setelah mengalami difraksi.

Sedangkan titik P_2 hanya akan dicapai setelah berkas mengalami difraksi pada pinggir reflektor parabola tersebut.

Jika sebuah titik bisa dicapai melalui beberapa cara, misalnya titik P_1 , maka artinya akan ada beberapa kontribusi medan elektromagnetika yang mendatangnya. Medan elektromagnetika total di titik itu adalah superposisi dari masing-masing nilai.

Keuntungan dari metoda optik geometris dibandingkan dengan metoda optik fisika adalah tak adanya integrasi yang harus dilakukan, sehingga perhitungannya menjadi sangat cepat, juga untuk titik-titik yang berada di balik reflektor, seperti titik P_2 , hasil perhitungannya, dengan membandingkannya dengan hasil pengukuran, lebih baik dari hasil optik fisika.

Tetapi metoda optik geometri yang dipakai untuk perhitungan antena parabola di sini, seperti halnya metoda-metoda pada optik geometri lainnya, akan memberikan hasil yang salah jika titik pengamatan yang kita ambil terletak pada kaustik. Di sana nilai medan elektromagnetikanya menjadi tak hingga.

8.2.3 Gain Antena Reflektor

Gain maksimal yang bisa dicapai oleh sebuah antena reflektor adalah

$$G_{\max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_{ap}$$

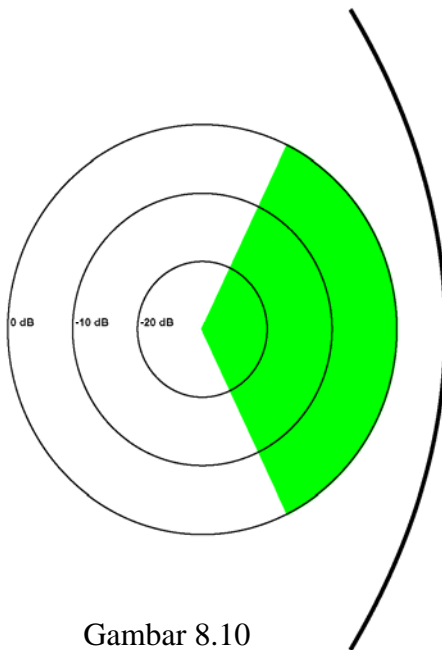
A_{ap} adalah luas permukaan apertur dari reflektor parabola, atau $A_{ap} = \pi D^2 / 4$, dengan D diameter reflektor parabola.

Gain maksimal ini hanya akan tercapai, jika:

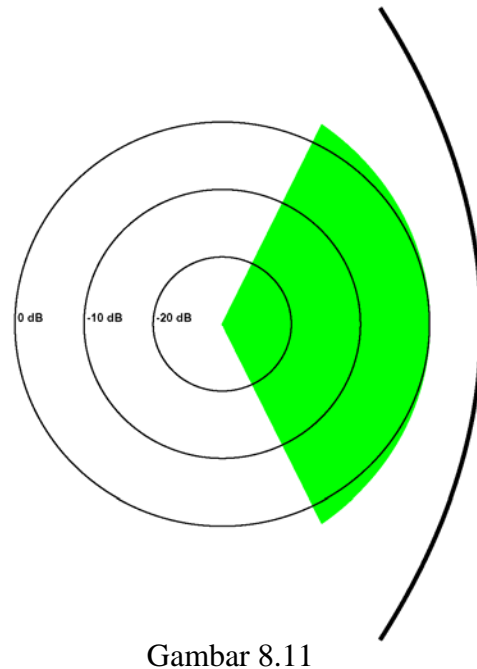
1. Amplitudo dan fasa medan listrik/magnet yang diiluminasikan sepanjang reflektor konstan, dan
2. tak ada spill over

Sehubungan dengan feeding antena reflektor akan kita amati gambar-gambar berikut ini.

Gambar 8.10 mungkin bisa dikatakan sebagai iluminasi yang homogen, karena power yang keluar dari feeding sama (di-normkan pada 0 dB), tetapi karena sisi paling luar dari reflektor terletak paling jauh, untuk mendapatkan iluminasi pada reflektor yang konstan, diambil iluminasi dari feeding seperti pada gambar 8.11, jadi sedikit mempunyai iluminasi yang membesar ke arah luar.



Gambar 8.10

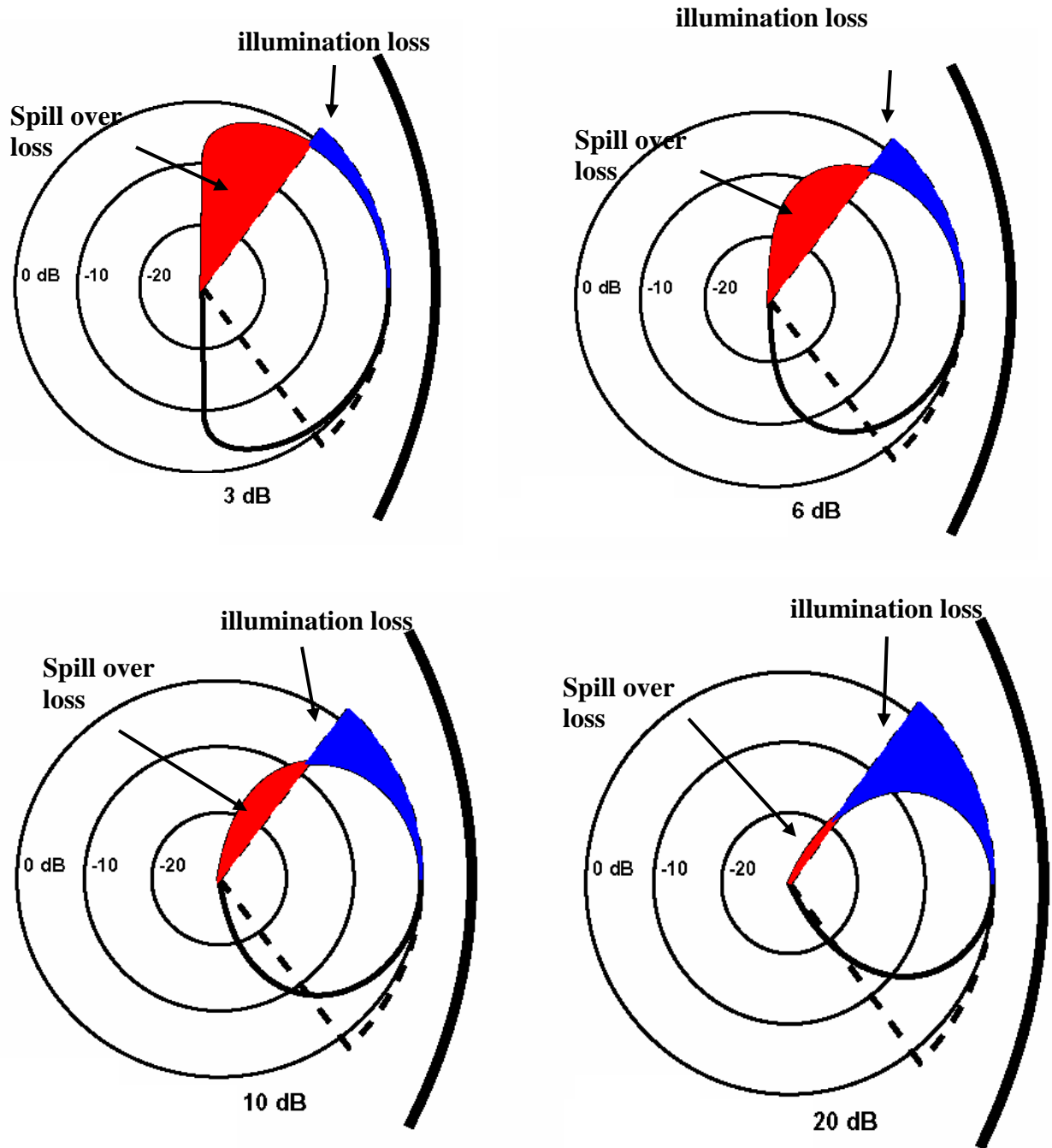


Gambar 8.11

Tetapi pada prakteknya iluminasi seperti itu tidak dapat dicapai. Di gambar 8.12 ditampilkan beberapa bentuk iluminasi dari horn dengan berbagai macam gain dari horn itu sendiri. Di gambar itu juga ditampilkan perbedaan (loss) antara iluminasi horn itu dengan iluminasi ideal yang diinginkan.

Karena iluminasi yang ideal tidak akan pernah tercapai, gain maksimal di atas juga tidak akan pernah tercapai. Dengan menggunakan efisiensi apertur, ϵ_{Ap} maka

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_{ap} \cdot \epsilon_{Ap}$$

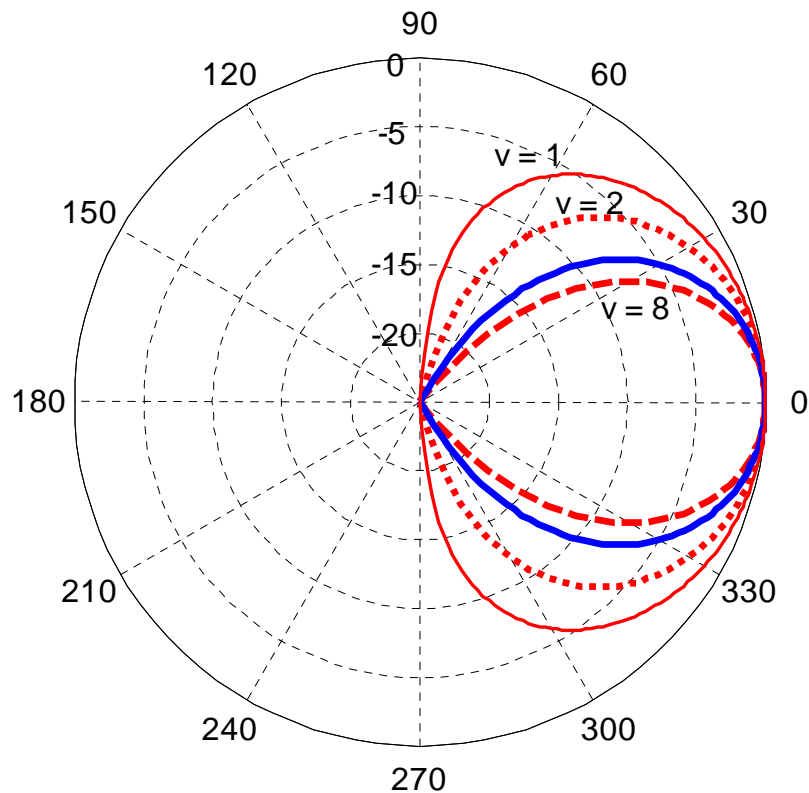


Gambar 8.12

Untuk mengaproksimasikan efisiensi aperture ini dengan mudah, diambil karakteristik feeding yang sederhana, yaitu dengan fungsi cosinus,

$$f(\vartheta) = \begin{cases} \cos^v \vartheta & \text{untuk } \vartheta \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & \text{untuk } \vartheta > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

atau seperti terlihat di gambar 8.13 dengan berbagai macam nilai v .

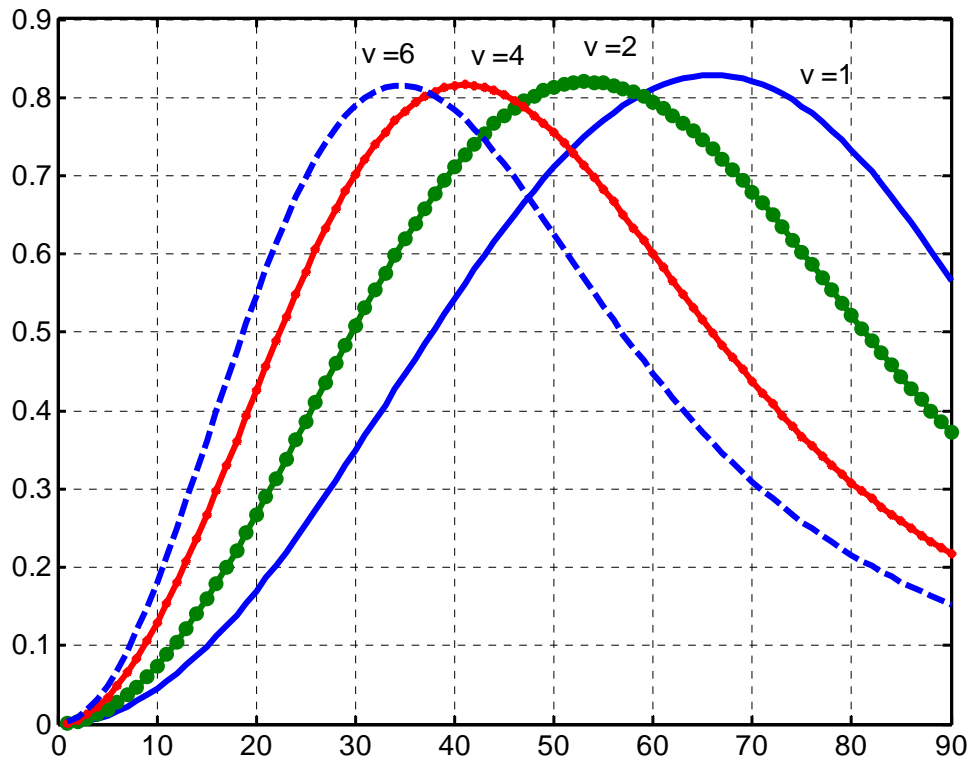


Gambar 8.13

Feeding yang memiliki gain yang besar bisa direpresentasikan dengan nilai v yang besar.

Gain dari antena reflektor dengan berbagai macam nilai parameter v terlihat di gambar 8.14. ϑ_0 didefinisikan di gambar 8.3.

Dari gambar 8.14 untuk mencapai efisiensi aperture yang besar, ada suatu besaran sudut tertentu yang tergantung dari gain iluminasi (v).



Gambar 8.14

Jika dengan iluminasi yang diberikan reflektor terlalu besar ($\mathcal{G}_o > \mathcal{G}_{o,opt}$) maka akan dihasilkan illumination loss yang banyak pada sisi reflektor yang harusnya ter-iluminasi secara baik.

Sedangkan jika ukuran reflektor terlalu kecil ($\mathcal{G}_o < \mathcal{G}_{o,opt}$), maka kebalikannya terjadi spill over loss yang besar pada pinggiran dari reflektor.

Sehingga di sini di-setting ukuran reflektor yang akan mencapai efisiensi maksimal.

Contoh Design:

Untuk suatu aplikasi pada frekuensi 5 GHz diperlukan suatu antena yang sangat high-gain misalnya > 28 dBi. Andaikan hanya tersedia feed horn yang memiliki gain yang sangat moderat, misalnya dengan parameter $v = 2$. Design-lah sebuah antena parabola !

Frekuensi 5 GHz : $\lambda = 0,06$ m.

Untuk mencapai gain yang maksimal misalnya 30 dBi (linier 1000) pada panjang gelombang di atas diperlukan luas apertur

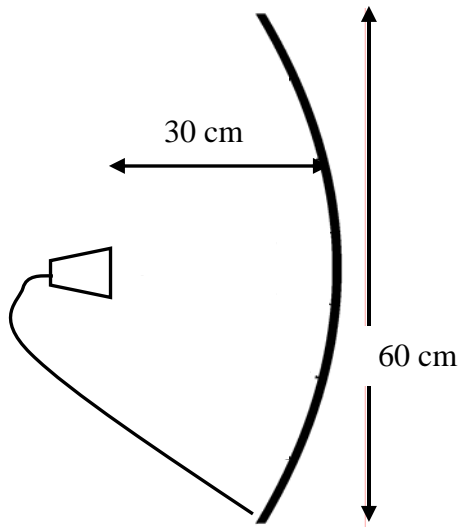
$$G_{\max} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_{ap} \Rightarrow A_{ap} = G_{\max} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} = 1000 \cdot \frac{0,0036}{12,566} = 0,286 \text{ m}^2,$$

atau diameter

$$A_{ap} = \frac{\pi}{4} D^2 \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4A_{ap}}{\pi}} = \sqrt{\frac{1,146}{3,1416}} = 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm}.$$

Untuk mendapatkan efisiensi yang optimal pada $v = 2$, dirancang antena dengan

$\theta_0 \approx 53^\circ$, atau dengan titik fokus yang berjarak (gambar 8.3):



$$\theta_0 = 2 \arctan\left(\frac{1}{4F/D}\right) \Rightarrow F = \frac{D}{4 \tan\left(\frac{\theta_0}{2}\right)} = \frac{0,6}{4 \cdot 0,5} = 0,3$$

m = 30 cm.

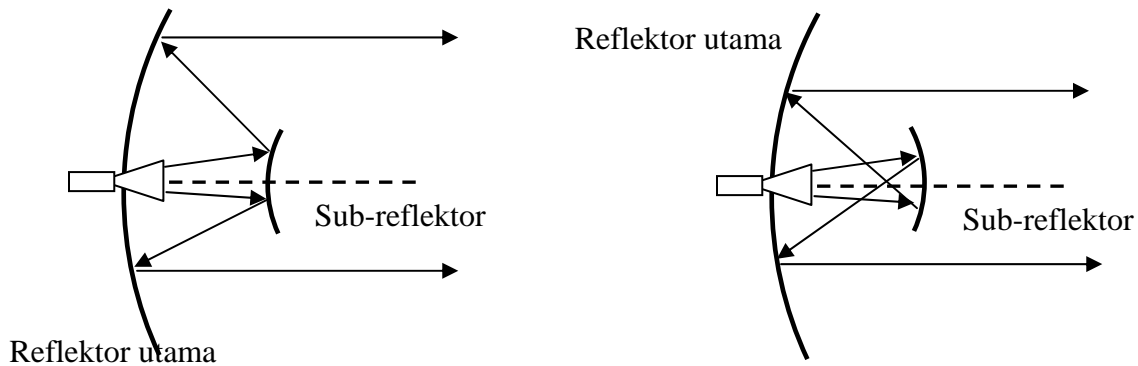
Efisiensi yang didapat sekitar 0,81, sehingga gain yang didapat menjadi $1000 \times 0,81 = 810$ atau 29,1 dBi.

8.3. Sistem Reflektor Multiple

Pada antena dengan memiliki banyak reflektor, feeder primer tidak lagi diletakkan di depan reflektor utama. Pada dua contoh paling sederhana dari antena dengan reflektor multiple, pada gambar di bawah ini, terlihat penggunaan dari sub-reflektor, sebagai reflektor pembantu, yang akan merefleksikan gelombang dari feeder primer ke arah reflektor utama.

Pada antena cassegrain dipergunakan sub-reflektor yang mempunyai bentuk hiperbola, sedangkan pada antena gregorian bentuk sub-reflektornya berupa eliptis.

Gambar di bawah ini merupakan contoh praktis dari sebuah antena parabola cassegrain.



Gambar 8.15 Antena Parabola Cassegrain

Antena Parabola Gregorian



Antena Cassegrain untuk frekuensi 18 sampai 40 GHz

Frequency	18 GHz to 40 GHz
Gain	37 - 43 dBi
Return Loss	10 - 15 dB
Output	WRD180 ridged waveguide
Diameter	610 mm
Sidelobes	Better than -13dB

Apendiks 1

$$\left(\frac{-\frac{x_R}{2F} \vec{a}_x - \vec{a}_z}{\sqrt{\left(\frac{x_R}{2F}\right)^2 + 1}} \right) \cdot \left(\frac{x_R \vec{a}_x + \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right) \vec{a}_z}{\left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)} \right) = \left(\frac{-\frac{x_R}{2F} \vec{a}_x - \vec{a}_z}{\sqrt{\left(\frac{x_R}{2F}\right)^2 + 1}} \right) \cdot \left(\frac{(x_p - x_R) \vec{a}_x - \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right) \vec{a}_z}{\sqrt{x_p^2 - 2x_p x_R + \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2}} \right)$$

$$\left(-\frac{x_R}{2F}\bar{a}_x - \bar{a}_z\right) \cdot \frac{\left(x_R\bar{a}_x + \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right)\bar{a}_z\right)}{\left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)} = \left(-\frac{x_R}{2F}\bar{a}_x - \bar{a}_z\right) \cdot \frac{\left((x_p - x_R)\bar{a}_x - \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right)\bar{a}_z\right)}{\sqrt{x_p^2 - 2x_px_R + \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2}}$$

$$\frac{-\frac{x_R^2}{2F} - \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right)}{\left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)} = \frac{-\frac{x_R}{2F}(x_p - x_R) + \left(F - \frac{x_R^2}{4F}\right)}{\sqrt{x_p^2 - 2x_px_R + \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2}}$$

$$-\left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)\sqrt{x_p^2 - 2x_px_R + \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2} = \frac{x_R^2}{2} - \frac{x_R x_p}{2} + 2\left(\frac{x_R^2}{4F}\right)^2 - \frac{x_R x_p}{2F} \frac{x_R^2}{4F} + F^2 - \left(\frac{x_R^2}{4F}\right)^2$$

$$-\left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)\sqrt{x_p^2 - 2x_px_R + \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2} = \frac{x_R^2}{2} - \frac{x_R x_p}{2} + \left(\frac{x_R^2}{4F}\right)^2 - \frac{2x_p}{x_R} \left(\frac{x_R^2}{4F}\right)^2 + F^2$$

$$-\left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)\sqrt{x_p^2 - 2x_px_R + \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2} = \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2 - \frac{x_R x_p}{2F} \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)$$

$$-\sqrt{x_p^2 - 2x_px_R + \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2} = \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right) - \frac{x_R x_p}{2F}$$

$$x_p^2 - 2x_px_R + \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2 = \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right)^2 - \frac{x_R x_p}{F} \left(F + \frac{x_R^2}{4F}\right) + \left(\frac{x_R x_p}{2F}\right)^2$$

$$x_p - x_R = (x_p - x_R) \frac{x_R^2}{4F^2}$$

$$(x_p - x_R) \cdot \left(\frac{x_R^2}{4F^2} - 1\right) = 0$$

Maka $x_p = x_R$.