

BAB 3

Function Generator

3.1 Pengertian Function Generator

Function generator merupakan instrumen elektronika yang berfungsi membangkitkan sinyal uji dengan berbagai bentuk gelombang—misalnya sinusoidal, persegi, segitiga, pulsa, hingga ramp. Rentang frekuensi keluaran umumnya berada di kisaran 0,5 Hz sampai ≥ 20 MHz, bergantung spesifikasi pabrikannya. Tombol *Frequency Range* menentukan batas frekuensi maksimum yang dapat dipilih. Level amplitudo dapat diatur antara 0,1 V pp – 20 V pp pada impedansi terbuka, atau 0,1 V pp – 10 V pp ketika dibebani $50\ \Omega$. Sinyal utama diakses melalui terminal keluaran, sedangkan port SYNC menyediakan sinyal sinkronisasi untuk pemicu (trigger) peralatan lain.



Gambar 3. 1 *Function Generator*

Sebagai pasangan ideal bagi osiloskop, generator fungsi banyak digunakan dalam servis dan perawatan perangkat audio-video. Perangkat ini dapat disetel menghasilkan frekuensi tetap,

melakukan *sweep* (pengayunan frekuensi), atau memodulasi bentuk gelombang sesuai kebutuhan pengujian.

3.2 Jenis-jenis Function Generator

Function generator pada dasarnya terbagi ke dalam tiga kategori, yakni *analogue function generator*, *digital function generator*, dan *sweep function generator*.

1. *Analogue Function Generator*

Generator fungsi analog—sering disebut generator fungsi analog dalam literatur Indonesia—pertama kali dikembangkan pada era 1950-an dan merupakan generasi perdana alat pembangkit sinyal. Saat itu penerapan teknologi digital masih terbatas. Walau seluruh rangkaianannya berbasis analog, tipe ini mempunyai keunggulan berupa metode pengoperasian yang lebih sederhana serta biaya produksi yang relatif ekonomis.

2. *Digital Function Generator*

Generator fungsi digital menggunakan teknik pemrosesan sinyal digital untuk menghasilkan bentuk gelombang. Metode paling lazim ialah *Direct Digital Synthesis* (DDS). Karena osilator referensinya dikendalikan kristal, generator ini mampu menyediakan frekuensi dengan akurasi-fase dan stabilitas tinggi, kemurnian spektral baik, serta *noise* rendah. Kinerja tersebut membuat harganya lebih mahal dan antarmukanya sedikit lebih kompleks dibanding versi analog.

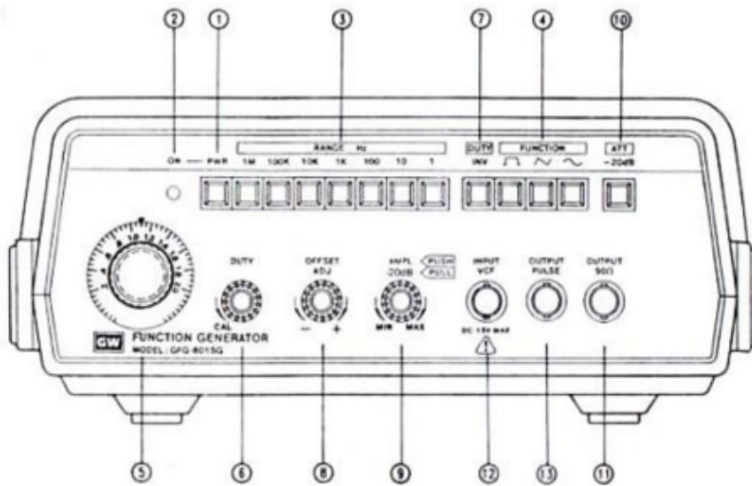
3. *Sweep Function Generator*

Generator fungsi sweep umumnya berbasis teknologi digital—meskipun varian analog tetap ada—dan dirancang untuk

melakukan sapuan frekuensi otomatis. Rasio sapuan (*sweep ratio*) perangkat ini dapat mencapai 100 : 1 atau lebih, tergantung spesifikasi pabrikannya.

3.3 Bagian-bagian *Function Generator*

Agar lebih jelas, susunan panel dan kontrol generator fungsi ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Struktur panel function generator

1. Tombol Power

Saklar utama untuk menyalakan maupun mematikan catu daya internal generator fungsi.

2. Indikator Power

LED penanda status yang menyala ketika unit memperoleh tegangan kerja.

3. *Range Switch*

Deretan tujuh tombol pemilih rentang frekuensi; memungkinkan penetapan kisaran 1 Hz sampai 1 MHz sebelum penalaan halus dilakukan.

4. Tombol *Function*

Tiga tombol terhubung yang memilih bentuk gelombang keluaran—sinus, persegi, segitiga, maupun pulsa—sesuai kebutuhan pengujian.

5. Pengali (*Multiplier*)

Potensiometer yang mengatur faktor pengali skala frekuensi; nilai kalibrasi tersedia dari 0,2 hingga 2,0 untuk penyesuaian presisi.

6. *Duty Control*

Kontrol putar yang memodifikasi rasio siklus (*duty cycle*) sehingga gelombang keluaran dapat dibuat simetris atau memenuhi rasio pulsa tertentu.

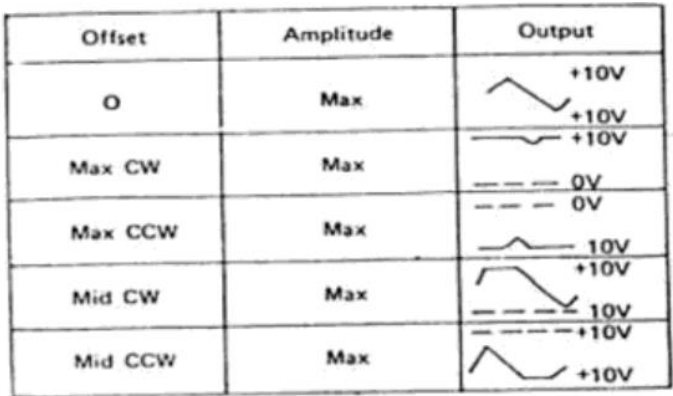
7. Pulse Invert

Tombol tekan yang membalik polaritas atau waktu simetri gelombang pulsa sesuai setelan *duty control*. Konfigurasi kombinasi sakelar inversi dengan *duty control* diperlihatkan pada Gambar 7-3.

Ramp/Pulse Invert Switch	Duty Control	Square	MAIN OUTPUT Triangle	Sine	Pulse Output
Out	Cal				
In	Cal				
In	Max CW				
Out	Max CW				

Gambar 3. 3 Pengaturan invert switch dan duty control

8. DC Offset (*Pull ADJ*)



Gambar 3. 4 Pengaruh Kendali DC Offset Pada Bentuk Gelombang

Kenop DC offset (sering diberi label *pull ADJ*) menggeser level DC sinyal keluaran sehingga bentuk gelombang dapat dinaikkan atau diturunkan terhadap garis nol sesuai kebutuhan. Penyetelan offset yang ekstrem akan menyebabkan puncak sinyal *terclamp* pada batas catu (lihat Gambar 3.4), karena kombinasi amplitudo tinggi dan offset besar mendorong gelombang melebihi head-room rangkaian output.

9. Amplitudo

Pengatur amplitudo menyediakan atenuasi bawaan sekitar 20 dB; potensiometer ini memungkinkan teknisi menurunkan level tegangan efektif tanpa mengubah karakter gelombang.

10. ATT (Attenuator tambahan)

Saat tombol *ATT 20 dB* diaktifkan bersamaan dengan kontrol amplitudo, atenuasi total yang tersedia dapat mencapai ± 40 dB, memberikan rentang penyesuaian level sinyal yang luas untuk aplikasi uji yang sensitif.

11. Output

Port keluaran utama generator fungsi mampu memancarkan berbagai bentuk gelombang—persegi, ramp, segitiga, sinus, hingga pulsa—dengan level lebih dari 20Vp-p, bergantung pada setting amplitudo dan beban output.

12. VCF Input

Terminal VCF (*Voltage-Controlled Frequency*) menerima sinyal kontrol eksternal; tegangan yang diterapkan di sini memodulasi frekuensi keluaran sehingga generator dapat diintegrasikan dalam sistem pengendali otomatis atau eksperimen modulasi frekuensi.

13. Output Pulsa

Konektor *pulse out* menghasilkan sinyal TTL berlevel logika yang dapat memicu rangkaian digital; lebar pulsa default sekitar 10 ns. Duty-cycle serta periode pulsa dapat disesuaikan melalui rangkaian range, multiplier, dan duty control, memungkinkan keluaran pulsa simetris maupun tak-simetris sesuai tabel pengaturan.

3.4 Karakter *Output Function Generator*

Generator fungsi utama beserta unit modulasi umumnya sanggup menghasilkan lima bentuk gelombang standar, yaitu:

- Sinus
- Kotak
- Segitiga
- *Ramp*
- Pulsa

1. Output Gelombang Sinus

Nilai *total harmonic distortion* (THD) untuk sinyal sinus berada di kisaran 0,5 % dalam rentang 10 Hz – 50 kHz, lebih baik ≥ 30 dB di bawah garis dasar ketika frekuensi dinaikkan hingga 50 kHz – 13 MHz. Pada modulasi sinusoidal, THD tetap di bawah 2 % antara 10 Hz dan 10 kHz.

2. Output Gelombang Kotak

Sinyal kotak (persegi) diatur simetris 50 % (*duty cycle*); amplitudo puncak sama dengan level puncak dari setelan generator. *Rise/fall time* berada di bawah 18 ns antara 10 % dan 90 % tegangan puncak-ke-puncak. Kesalahan penalaan amplitudo akhir setelah *overshoot* tidak melebihi ± 10 % dari nilai target.

3. Output Gelombang Segitiga

Gelombang segitiga memiliki nilai RMS sebesar $0,557 \times$ nilai puncak. Untuk mode *ramp* simetris, deviasi linearitas dijaga di bawah 1 % sepanjang selang ramp.

4. Ram

Dengan memilih mode segitiga dan mengatur kontrol simetri (SYM), generator menghasilkan gelombang *ramp* unidireksional. Amplitudo ramp dasar dapat diubah melalui kenop amplitudo, sedangkan generator modulasi memakai kontrol SYM untuk menyesuaikan *slope time* maupun *release time*.

5. Pulsa

Gelombang pulsa dihasilkan dengan mengayunkan tegangan dari 0 V hingga maksimal 20 V_{p-p} pada beban terbuka. Mode ini mendukung pemicu tunggal (*single-burst*) atau berulang (*start/stop*) lewat sakelar *zero-point* dan kenop fasa. Lebar pulsa (ON/OFF) dikonfigurasi melalui range, multiplier, dan duty control; waktu *rise* default < 10 ns dan dapat diperhalus dengan penyesuaian simetri pada generator utama.

3.5 Cara Penggunaan dan Perawatan *Function Generator*

Dalam praktik laboratorium, *function generator* hampir selalu dipasangkan dengan osiloskop. Langkah pengoperasiannya ialah menghubungkan keluaran generator ke kanal osiloskop memakai kabel **coupling** (BNC-to-BNC). Selanjutnya pilih bentuk gelombang—sinus, segitiga, persegi, atau pulsa—serta setel amplitudo masing-masing kanal. Frekuensi kerja disesuaikan dan dituliskan dalam satuan hertz (Hz) agar pembacaan pada osiloskop akurat.

Berikut panduan sederhana agar unit generator fungsi tetap andal dan berumur panjang:

1. Setelah pengujian selesai, matikan *function generator* mengikuti prosedur *shutdown* pabrikan.
2. Rapi-kan kabel keluaran dengan cara digulung longgar untuk mencegah kerusakan inti dan konduktor.
3. Simpan unit pada lingkungan kering guna menghindari korosi pada komponen internal.
4. Jauhkan alat dari debu berlebih dan kelembapan tinggi agar sirkuit tetap bersih dan bebas lembab.

RINGKASAN

1. *Function generator* adalah instrumen elektronika yang membangkitkan sinyal uji berbentuk gelombang sinus, kotak, segitiga, pulsa, serta *ramp*.
2. Perangkat ini umumnya dipakai berdampingan dengan osiloskop sebagai pasangan alat ukur utama di laboratorium elektronika.
3. Generator fungsi diklasifikasikan menjadi tiga: *analogue function generator*, *digital function generator*, dan *sweep function generator*.
4. Tipe analog—dikembangkan pertama kali pada era 1950-an—masih berbasis rangkaian analog murni; kelebihanannya adalah antarmuka sederhana, biaya produksi rendah, dan kemudahan operasional.
5. Tipe digital menggunakan teknik pemrosesan sinyal digital (DDS dan sejenisnya) sehingga mampu mem-formasikan gelombang dengan akurasi serta stabilitas lebih tinggi.
6. *Tipe sweep* mayoritas berbasis digital (meski tersedia varian analog) dan dirancang untuk menyapu frekuensi secara otomatis sesuai rasio sapuan yang diinginkan.
7. Generator fungsi menyediakan lima opsi bentuk gelombang baku—sinus, persegi, segitiga, *ramp*, dan pulsa—yang dapat dipilih via tombol *function*.
8. Rentang frekuensi tipikal yang dapat dihasilkan berada di kisaran 0,5 Hz hingga ≥ 20 MHz, bergantung spesifikasi pabrikan.

9. Keluaran alat dapat diatur sebagai sinyal sapuan (*sweep output*) serta dimonitor frekuensinya menggunakan *frequency counter* internal atau eksternal.
10. Prosedur penggunaan: sambungkan port keluaran generator ke kanal osiloskop dengan kabel kopling, pilih bentuk gelombang, atur amplitudo, kemudian setel frekuensi dalam satuan hertz sebelum melakukan pengamatan di layar osiloskop.

BAB 4

Spectrum Analyzer

4.1 Pengenalan Spectrum Analyzer

Spectrum analyzer dapat didefinisikan secara ringkas sebagai voltmeter tanggap-puncak yang selektif frekuensi dan dikalibrasi untuk menampilkan nilai RMS sinyal sinus. Berbeda dengan voltmeter biasa yang memperlihatkan tegangan, spectrum analyzer menampilkan daya. Dengan mengetahui nilai puncak atau rata-rata tegangan sinus serta impedansi beban, instrumen ini memungkinkan kalkulasi daya secara langsung.



Gambar 4. 1 Spectrum analyzer Keysight UXA

Spectrum analyzer memecah sinyal waktu-domain menjadi kumpulan komponen sinusoidal, lalu menampilkan sebagai spektrum frekuensi (daya terhadap frekuensi). Melalui tampilan ini, engineer dapat mengidentifikasi komponen harmonisa, menilai kualitas sinyal, memecahkan masalah, atau memperdalam pemahaman mengenai sinyal kompleks. Karena

itulah spectrum analyzer menjadi alat uji penting pada aplikasi RF, komunikasi nirkabel, radar, dan sistem terkait lainnya.

4.1.1 Aplikasi Spectrum Analyzer

Spectrum analyzer digunakan dalam berbagai aplikasi untuk memperoleh informasi frekuensi sinyal—misalnya pemantauan spektrum, pengukuran derau & distorsi, pengujian perangkat RF, uji kesesuaian EMC/EMI, serta analisis lebar pita dan sumber interferensi pada sistem telekomunikasi.

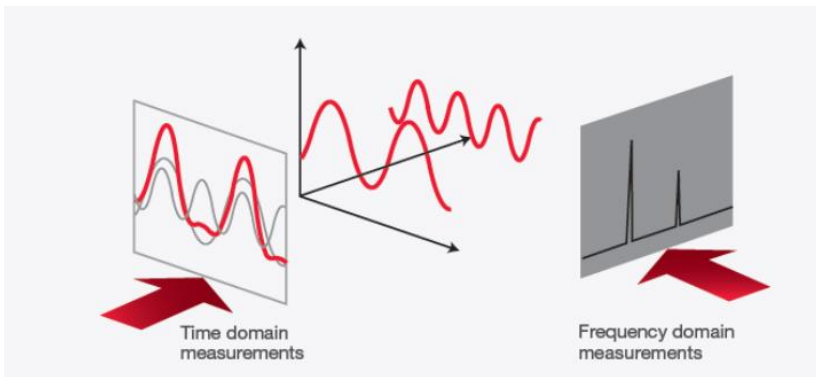
Pemantauan spektrum merupakan fungsi kritis: lembaga regulator memetakan alokasi kanal RF untuk layanan televisi, radio, seluler, polisi, komunikasi darurat, dan sebagainya. Setiap layanan wajib beroperasi pada frekuensi yang ditetapkan dan tetap berada di dalam batas kanal. Karena saluran-saluran ini berdekatan, perangkat pemancar—termasuk penguat daya—harus diuji agar tidak menimbulkan energi tak diinginkan pada kanal tetangga. Dalam jaringan seluler, misalnya, harmonisa pembawa harus dianalisis supaya tidak mengganggu sistem lain yang bekerja pada frekuensi sama. Spektrum analyzer juga dapat mengevaluasi distorsi modulasi yang terseleksi pada sinyal pembawa.

Electromagnetic Interference (EMI) adalah radiasi tak diinginkan yang dapat menurunkan performa perangkat lain. Perancang dan pabrik produk elektronika melakukan uji emisi vs. frekuensi sesuai regulasi lembaga pemerintah maupun standar industri untuk memastikan kepatuhan.

Insinyur pun kerap menguji rangkaian aktif mereka terhadap derau berlebih. Pengukuran rasio sinyal-terhadap-derau (SNR) via spectrum analyzer membantu mengkarakterisasi kinerja perangkat agar tidak menghasilkan derau berlebihan.

4.2 Ranah Frekuensi vs. Ranah Waktu

Umumnya kita memandang peristiwa sinyal sesuai kemunculannya dalam ranah waktu; misalnya, osiloskop menampilkan variasi tegangan terhadap waktu. Namun teori Fourier menjelaskan bahwa fenomena listrik di ranah waktu dapat diuraikan menjadi satu atau lebih gelombang sinus dengan frekuensi, amplitudo, dan fasa tertentu. Proses matematis inilah yang dikenal sebagai transformasi Fourier, mengubah fungsi waktu menjadi fungsi frekuensi.

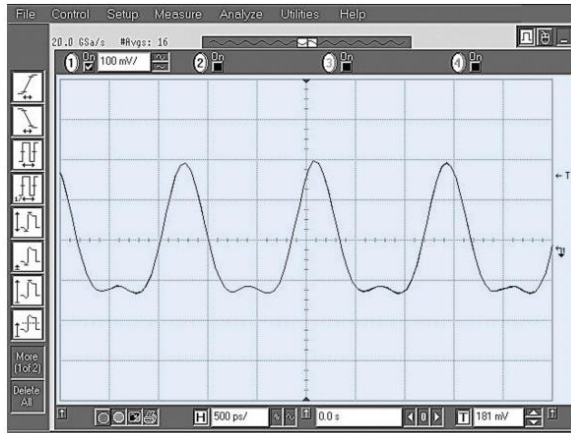


Gambar 4. 2 Hubungan antara pengukuran ranah waktu dan ranah frekuensi

Spectrum analyzer memanfaatkan prinsip ini untuk memvisualkan sinyal elektronik pada ranah frekuensi, sehingga level energi pada setiap komponen frekuensi dapat diukur. Dengan demikian, insinyur dapat mengidentifikasi, menganalisis,

dan memecahkan masalah pada sinyal kompleks dengan lebih mendalam dibanding pemantauan di ranah waktu saja.

Melalui contoh transformasi Fourier berikut, kita mulai dengan bentuk gelombang yang ditampilkan di bawah ini:



Gambar 4. 3 Sinyal ranah-waktu yang kompleks

Dengan menerapkan penapisan (*filtering*), bentuk gelombang tersebut dapat dipisahkan menjadi komponen-komponen sinusoidal atau spektral untuk dianalisis secara individual. Pengukuran amplitudo dan fasa mempermudah karakterisasi setiap gelombang sinus. Apabila sinyal yang dianalisis bersifat periodik, teori Fourier menyatakan bahwa komponen-komponen sinus fundamental akan muncul sendiri-sendiri di ranah frekuensi pada posisi $1/T$, di mana T adalah periode sinyal.

Menurut teori Fourier, ketika kita berpindah dari ranah waktu ke ranah frekuensi—atau sebaliknya—evaluasi sinyalnya idealnya dilakukan sepanjang interval waktu tak hingga. Namun

dalam praktik, pengukuran selalu dilakukan dalam selang waktu terbatas. Pembatasan lebar pita ini tetap menghasilkan data yang dapat diterima karena mayoritas energi sinyal berhasil ditangkap. Saat melakukan transformasi Fourier pada data ranah frekuensi, informasi fasa tiap komponen sangat krusial. Sebagai ilustrasi, jika fasa tidak dipertahankan, gelombang kotak yang diubah ke ranah frekuensi lalu dikonversi kembali bisa berubah menjadi gelombang gergaji (*sawtooth*).

4.3 Jenis-jenis Spectrum / Signal Analyzer

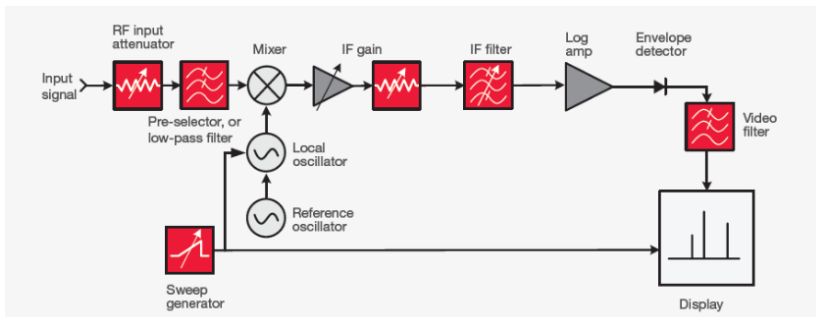
Analyzer swept-tuned superheterodyne generasi awal hanya mengukur amplitudo. Seiring kemajuan teknologi, pengukuran tambahan menjadi penting. Sistem komunikasi modern, misalnya, menuntut informasi fasa; karenanya spectrum analyzer terbaru mempertahankan baik fasa maupun amplitudo sinyal terukur. Selain itu, kepadatan sirkuit yang lebih kecil memungkinkan hadirnya spectrum analyzer portabel yang tangguh. Perangkat masa kini mendigitasi sinyal setelah satu atau lebih tahap konversi frekuensi. Sebagai hasil perkembangan teknologi dan kebutuhan pengukuran baru, terdapat beberapa tipe analyzer:

- *Analog analyzer* (lihat *Basic Spectrum Analyzers*)
- *Vector analyzer* (lihat catatan aplikasi *Vector Signal Analysis Basics*)
- *FFT analyzer* berbasis *Fast Fourier Transform* (lihat *Keysight 35670A FFT Dynamic Signal Analyzer*)

- *Analyzer* yang menggabungkan berbagai fungsi di atas (mis. *Keysight X-Series Signal Analyzers*)
- *Analyzer portabel* dan berketahanan tinggi (lihat *FieldFox Handheld Spectrum Analyzers*)
- *Analyzer modular* (lihat *Modular PXI Signal Analyzers*)

4.4 Bagaimana Spectrum Analyzer Bekerja?

Walau banyak rangkaian analog kini digantikan implementasi digital modern, memahami arsitektur klasik spectrum analyzer tetap bermanfaat. Bagian ini akan mendeskripsikan dan mendemonstrasikan dasar-dasar spectrum analyzer, termasuk konfigurasi paling sederhana dan pengukuran kuncinya.



Gambar 4. 4 Diagram blok spectrum analyzer superheterodyne klasik

4.4.1 Tampilan dan Pengaturan Spectrum Analyzer

Keluaran sebuah spectrum analyzer berupa jejak X-Y pada layar. Jejak ini muncul pada kisi (*graticule*) dengan 10 divisi horizontal utama dan 10 divisi vertikal utama.

Sumbu Horizontal

Sumbu horizontal dikalibrasi secara linier terhadap frekuensi yang meningkat dari kiri ke kanan. Dengan menyetel frekuensi, kita dapat menentukan frekuensi absolut sinyal apa pun yang 120

tampil maupun selisih frekuensi relatif antar-sinyal. Ada dua metode penentuan frekuensi:

1. Menetapkan frekuensi pusat dan span

Kontrol pusat (*center frequency*) dan rentang (*span*) bekerja independen; perubahan frekuensi pusat tidak mengubah lebar span.

- a. Atur dulu frekuensi pusat tepat di garis tengah graticule.
- b. Kemudian setel rentang frekuensi (span) agar menempati 10 divisi penuh.

2. Menetapkan frekuensi awal dan akhir (*start/stop*).

Sumbu Vertikal

Sumbu vertikal dapat dikalibrasi berdasarkan amplitudo. Kita dapat memilih skala linier (voltage) atau logaritmik (dB). Skala logaritmik lebih sering digunakan karena rentang kerjanya jauh lebih luas—misalnya mampu menampilkan selisih amplitudo 70 hingga 100 dB (rasio tegangan 3 200 sampai 100 000, atau rasio daya 10 000 000 sampai 10 000 000 000) secara bersamaan.



Gambar 4. 5 Tampilan spectrum analyzer beserta panel pengaturan

Sebagai alternatif, skala linier berguna untuk sinyal yang perbedaannya tidak lebih dari 20–30 dB (rasio tegangan 10 – 32). Pada kedua jenis skala, garis teratas graticule, yakni *reference level*, diatur ke nilai absolut dengan teknik kalibrasi, kemudian divisi lainnya diperkalibrasi relatif terhadap nilai referensi tersebut. Dengan demikian kita dapat mengukur nilai absolut sinyal maupun perbedaan amplitudo relatif antara dua sinyal. Layar menampilkan kalibrasi skala, frekuensi, dan amplitudo, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

4.4.2 Menyetel (*Tuning*) Spectrum Analyzer

Mengetahui cara menyetel spectrum analyzer ke rentang frekuensi tertentu sangat penting. Proses penyetelan berkaitan dengan:

- frekuensi tengah (center frequency) filter IF,
- rentang frekuensi osilator lokal (LO), dan
- lebar pita (*passband*) low-pass sesudah pencampur.

Kombinasi IF dan LO yang tepat akan menghasilkan rentang penyetelan optimum.

Contoh 1

Misalkan kita memerlukan rentang 0 – 3,6 GHz dan ingin memilih IF = 1 GHz (masih berada dalam rentang itu). Masalahnya, sinyal masukan berfrekuensi 1 GHz akan muncul langsung di keluaran pencampur sebagai IF tetap. Akibatnya terbentuk “lubang” dalam respon amplitudo—bagian frekuensi tersebut tidak dapat dianalisis karena responsnya konstan, tak bergantung pada penyetelan LO. Jadi IF 1 GHz tidak cocok.

Contoh 2

Pilih IF di atas frekuensi tertinggi dalam rentang—mis. IF = 5,1 GHz untuk jangkauan 0 – 3,6 GHz. Rentang LO pertama tersedia 3,8 – 8,7 GHz. Jika LO dimulai tepat di IF (selisih LO – IF = 0 Hz) lalu dinaikkan hingga 3,6 GHz di atas IF, maka seluruh rentang 0 – 3,6 GHz tercakup melalui produk pencampuran LO – IF. Rumusnya:

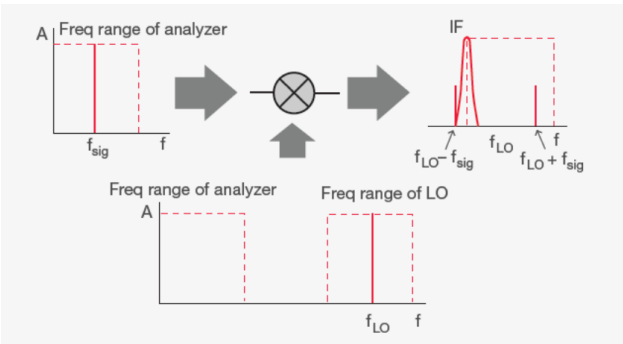
$$f_{sig} = f_{LO} - f_{IF}$$

Untuk menghitung frekuensi LO yang dibutuhkan:

$$f_{LO} = f_{sig} + f_{IF}$$

Contoh perhitungan dengan IF = 5,1 GHz:

f_{sig}	f_{LO}
1 kHz	5,100001 GHz
1,5 GHz	6,6 GHz
3 GHz	8,1 GHz



Gambar 4. 6 Setel frekuensi LO ke $f_{IF} + f_{sig}$ agar respons sinyal muncul pada layar

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa apabila f_{LO} belum cukup tinggi, produk pencampuran $f_{LO} - f_{sig}$ belum jatuh ke pita IF sehingga belum terlihat respons. Begitu ramp generator menaikkan LO, produk tersebut memasuki passband IF dan trace muncul di layar.

Persamaan tuningnya:

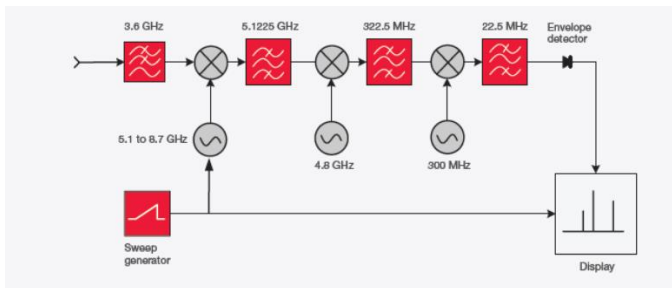
$$f_{sig} = f_{LO} - f_r$$

dengan $f_r = f_{IF}$.

Pedoman singkat untuk analyzer RF satu-pita:

- Pilih IF di atas frekuensi tertinggi rentang kerja.
- Buat LO dapat disetel dari IF sampai batas atas rentang.
- Tambahkan low-pass filter sesudah pencampur agar hanya sinyal < IF yang lolos.

Untuk resolusi frekuensi yang sangat rapat, analyzer mungkin memerlukan bandwidth IF serendah 1 kHz atau kurang. Hal ini sering dicapai melalui beberapa tahap pencampuran (lihat Gambar 4.7).



Gambar 4. 7 Sebagian besar spectrum analyzer memakai dua sampai empat tahap pencampuran untuk mencapai IF akhir

Sebagian besar spectrum analyzer modern memakai dua hingga empat tahap pencampuran untuk mencapai IF akhir. Pada contoh:

- LO_1 3,8 GHz $\rightarrow$ IF_1 = 5,1225 GHz
- LO_2 4,8 GHz $\rightarrow$ IF_2 922,5 MHz
- LO_3 300 MHz $\rightarrow$ IF_3 22,5 MHz $\rightarrow$ detektor selubung dan tampilan

Pedoman singkat untuk analyzer RF satu-pita:

- Pilih IF di atas frekuensi tertinggi rentang kerja.
- Buat LO dapat disetel dari IF sampai batas atas rentang.
- Tambahkan low-pass filter sesudah pencampur agar hanya sinyal $<$ IF yang lolos.

Persamaan umum:

$$f_{\text{sig}} = f_{LO1} - (f_{LO2} + f_{LO3} + f_{LO4} + \dots + f_{IF \text{ akhir}})$$

Pada contoh disederhanakan:

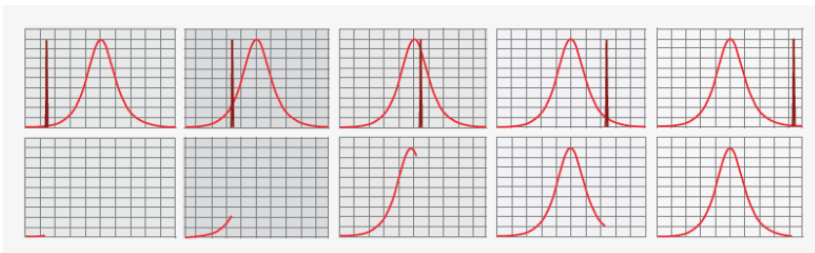
$$\begin{aligned} f_{LO2} + f_{LO3} + f_{IF \text{ akhir}} &= 4,8 \text{ GHz} + 300 \text{ MHz} + 22,5 \text{ MHz} \\ &= 5,1225 \text{ GHz} = IF_1 \end{aligned}$$

Catatan: Banyak analyzer RF modern mengizinkan frekuensi LO serendah (bahkan lebih rendah) daripada IF, sehingga sinyal LO yang bocor lewat pencampur dapat tampil seolah-olah merupakan sinyal masukan 0 Hz. Karenanya tidak semua analyzer menampilkan rentang hingga 0 Hz secara akurat.

4.4.2.1 Filter Analog

Resolusi frekuensi pada spectrum analyzer adalah kemampuan memisahkan dua sinyal sinusoidal masukan sehingga muncul sebagai respons terpisah. Menurut Fourier, sinyal sinus hanya

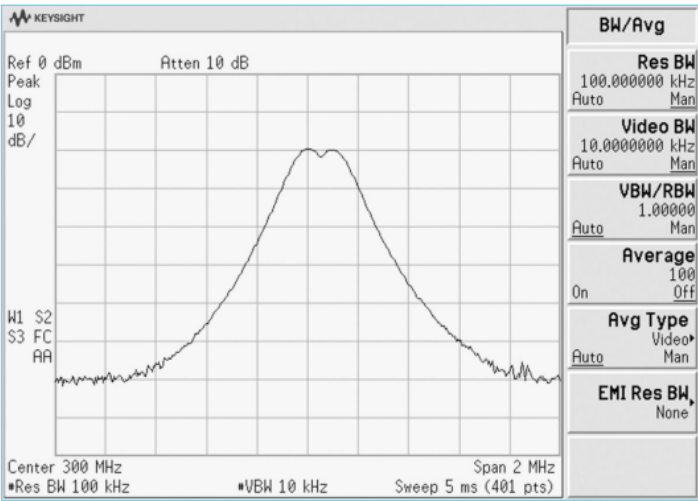
memiliki energi pada satu frekuensi, sehingga secara teori tidak ada masalah resolusi. Namun, dua sinyal—seberapa pun rapatnya—harus tampak sebagai dua garis terpisah pada layar; jika tidak cukup terpisah, kedua jejak akan tumpang-tindih dan terlihat sebagai satu respons saja. Oleh karena itu, gunakan rangkaian *resolution* IF filter yang dapat dipilih pada spectrum analyzer, lalu pilih filter yang cukup sempit untuk memisahkan sinyal-sinyal yang berdekatan. Pada penerima superheterodyne, respons sinyal yang tampil memiliki lebar tertentu akibat karakteristik filter IF.



Gambar 4. 8 Saat produk pencampuran melewati IF, bentuk respons filter tergambar pada layar

Keluaran pencampur (mixer) memuat dua sinyal asli (input dan LO) serta hasil penjumlahan dan selisihnya. *Band-pass filter* menentukan frekuensi IF, memilih produk pencampuran yang diinginkan, dan menolak sinyal lain. Karena sinyal masukan tetap konstan sementara LO disapu (*swept*), produk pencampuran ikut tersapu. Selama sapuan, bila produk pencampuran melewati IF, bentuk respons filter IF akan tergambar di layar—ilustrasinya ditunjukkan pada Gambar 4.8. Filter paling sempit di dalam rantai menentukan lebar pita tampilan keseluruhan; pada contoh di

Gambar 4.7 lebar pita tersempit (dan IF yang dihasilkan) adalah 22,5 MHz.

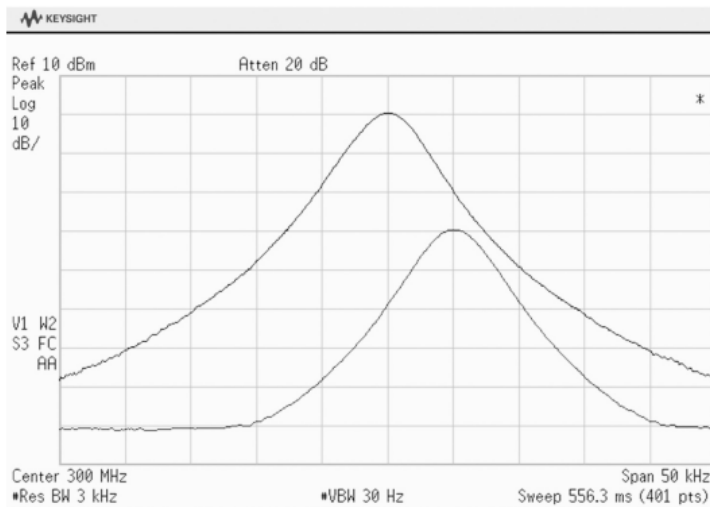


Gambar 4. 9 Dua sinus beramplitudo sama dapat dipisahkan dengan lebar pita 3 dB filter IF terpilih

Sangat mungkin memisahkan dua sinyal yang posisinya rapat dengan menggunakan lebar pita 3 dB dari IF filter terpilih. Nilai lebar pita 3 dB menentukan seberapa dekat dua sinus beramplitudo sama dapat diposisikan dan tetap terpisah. Pada contoh Gambar 4.9, terlihat penurunan amplitudo sekitar 3 dB di antara dua puncak sinyal. Walaupun sinyal tersebut bisa dibuat lebih rapat hingga akhirnya menyatu, aturan praktis menggunakan lebar pita 3 dB IF filter sudah memadai untuk memisahkan sinyal-sinyal beramplitudo sama.

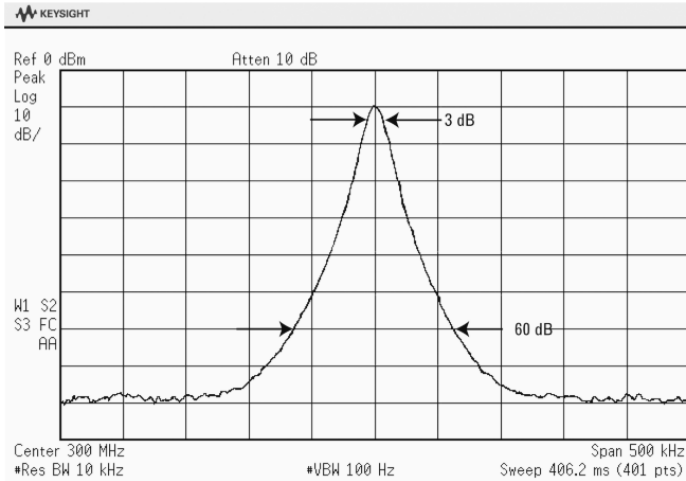
Lebih sering dijumpai dua sinyal sinusoidal dengan amplitudo berbeda, di mana sinyal ber-amplitudo lebih kecil “bersembunyi” di rok (*skirt*) respons sinyal ber-amplitudo lebih besar. Pada contoh Gambar 4.10, jejak teratas tampak sebagai

satu sinyal, padahal terdiri atas sinyal 300 MHz (0 dBm) dan 300,005 MHz (-30 dBm). Jejak terbawah memperlihatkan respons setelah sinyal 300 MHz dihilangkan, sehingga sinyal lemah menjadi terlihat.



Gambar 4. 10 Sinyal kecil tersembunyi di bawah sinyal besar

Filter resolusi juga memiliki spesifikasi selektivitas pita, lazim disebut “*selectivity*” atau “*shape factor*”. Selektivitas pita membantu menilai kemampuan filter memisahkan dua sinyal sinusoidal tak-seimbang. Pada analyzer Keysight, selektivitas didefinisikan sebagai rasio lebar pita 60 dB terhadap lebar pita 3 dB—ditunjukkan pada Gambar 4.11. Contoh ini memakai desain empat-kutub berkarakteristik Gaussian hampir ideal dengan selektivitas $\approx 12,7 : 1$. Analyzer digital modern mampu mencapai selektivitas yang lebih baik lagi.



Gambar 4. 11 Rasio selektivitas 60 dB vs 3 dB

Sebagai contoh, berapakah lebar pita filter resolusi yang diperlukan untuk memisahkan dua sinyal yang berjarak 4 kHz dan berbeda amplitudo 30 dB jika faktor selektivitasnya 12,7 : 1?

Kita harus menghitung jarak frekuensi dari pusat filter menuju rok (*skirt*), bukan terhadap lebar pita penuh, karena sinyal ber-amplitudo besar akan teredam ketika analyzer diset ke sinyal kecil. Besarnya redaman rok pada offset tertentu dapat dihitung dengan persamaan:

$$H(\Delta f) = -10(N) \log_{10}[(\Delta f/f_0)^2 + 1]$$

dengan: $H(\Delta f)$ = redaman rok filter (dB), N = jumlah kutub filter, Δf = offset frekuensi (Hz) dari pusat, dan f_0 :

$$f_0 = \frac{\text{RBW}}{2^{2N}\sqrt{2} - 1}$$

Pada contoh ini diambil $N = 4$ dan $\Delta f = 4000$ Hz. Mula-mula dicoba filter RBW 3 kHz. Hitung f_0 :

$$f_0 = \frac{3000}{2^{2(4)}\sqrt{2} - 1} = 3448,44 \text{ Hz}$$

Redaman rok pada offset 4 kHz diperoleh:

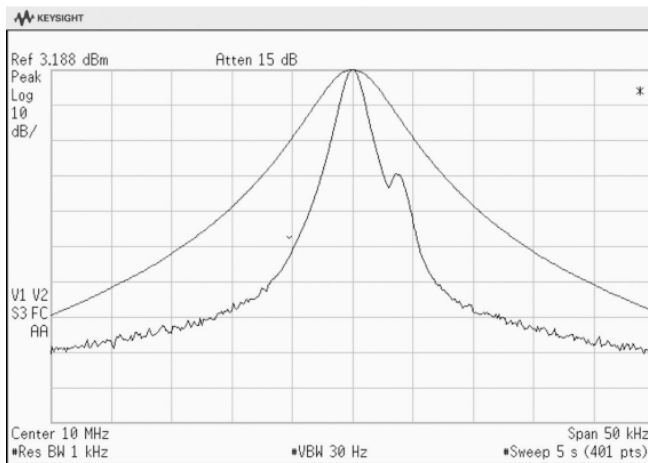
$$H(4000) = -10(4) \log_{10}[(4000/3448,44)^2 + 1] = -14,8 \text{ dB}$$

Nilai ini masih belum cukup untuk menampakkan sinyal kecil.

Hitung ulang memakai filter 1 kHz:

$$f_0 = \frac{1000}{2^{2(4)}\sqrt{2} - 1} = 1149,48 \text{ Hz}$$

$$H(4000) = -10(4) \log_{10}[(4000/1149,48)^2 + 1] = -44,7 \text{ dB}$$



Gambar 4. 12 Jejak atas memakai filter 3 kHz dan gagal memisahkan sinyal kecil.

Dengan redaman $\approx 44,7$ dB, filter berlebar pita 1 kHz mampu memisahkan sinyal lemah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.12.

4.4.2.2 Digital Filters

Keunggulan utama *digital filters* pada spectrum analyzer ialah peningkatan selektivitas lebar pita secara signifikan. Pada *Keysight PSA* dan *X-Series Signal Analyzer*, lebar pita resolusi (RBW) dihasilkan sepenuhnya secara digital. Beberapa keluarga lain—contohnya *Keysight ESA-E Series*—masih memakai penapis analog untuk RBW lebar, tetapi beralih ke penapis digital ketika lebar pita ≤ 300 Hz.

4.4.2.3 FM Residual

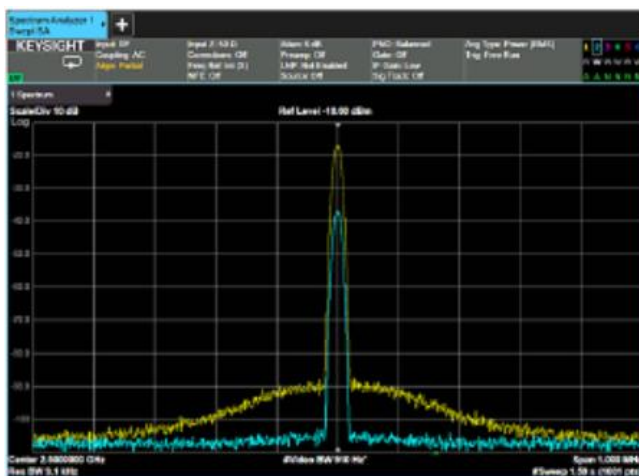
Lebar pita resolusi paling sempit yang dapat dipakai ditentukan oleh instabilitas dan FM residual dari local oscillator (LO) analisator, terutama LO pertama. Generasi analisator terkini jauh menurunkan FM residual; model lama tidak dapat menampilkan RBW di bawah 1 kHz akibat ketidakstabilan tampilan yang tidak teridentifikasi. Kisaran FM residual beberapa analisator Keysight adalah:

- X-Series berkinerja tinggi $\rightarrow \approx 0,25$ Hz
- PSA Series $\rightarrow 1 - 4$ Hz
- ESA Series $\rightarrow 2 - 8$ Hz

4.4.3 Derau Fasa

Derau fasa (phase noise), atau *sideband noise*, pada akhirnya bersumber dari local oscillator (LO) di dalam spectrum analyzer. Meskipun kita tidak selalu dapat melihat “jitter” frekuensi LO secara langsung, ketidakstabilan frekuensi/fasa LO termanifestasi sebagai sideband derau pada hasil pencampuran LO dengan sinyal masukan. Sideband tersebut akan muncul di sekitar setiap

komponen spektral yang amplitudonya cukup di atas lantai derau lebar-pita instrumen, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.13. Selisih amplitudo antara komponen spektral dan derau fasa bergantung pada kestabilan LO—LO yang lebih stabil menghasilkan derau fasa lebih rendah. Selisih amplitudo juga dipengaruhi oleh lebar pita resolusi (RBW); menurunkan RBW $10 \times$ akan menurunkan level derau fasa terukur sebesar 10 dB.



Gambar 4. 13 Derau fasa baru terlihat ketika sinyal berada cukup jauh di atas lantai derau sistem.

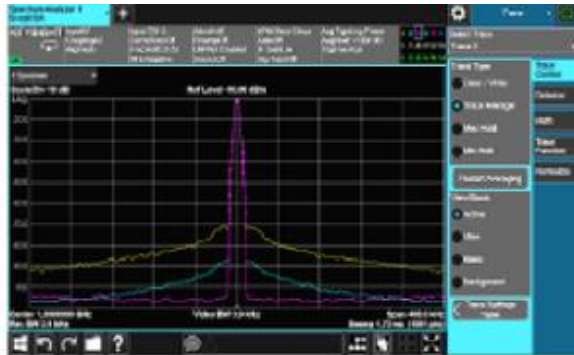
Bentuk spektrum derau fasa berhubungan langsung dengan rancangan analyzer, khususnya kompleksitas loop phase-lock yang dipakai menstabilkan LO. Nilai derau fasa dinyatakan dalam dBc/Hz—dB relatif terhadap sinyal pembawa, dinormalisasi ke satu pita derau 1 Hz. Spektrum dapat disajikan sebagai nilai pada offset frekuensi tertentu atau sebagai kurva derau fasa terhadap rentang offset.

Secara praktis, derau fasa internal analyzer baru terlihat saat kita menggunakan filter resolusi yang sempit, karena pada RBW lebar rok filter menutupi derau ini. Sayangnya, meskipun kita memakai filter digital, derau fasa bawaan LO tidak berubah; ia tetap dapat “bersembunyi” di bawah rok filter lebar, mirip kasus dua sinyal sinus yang amplitudonya tidak sama pada contoh sebelumnya.

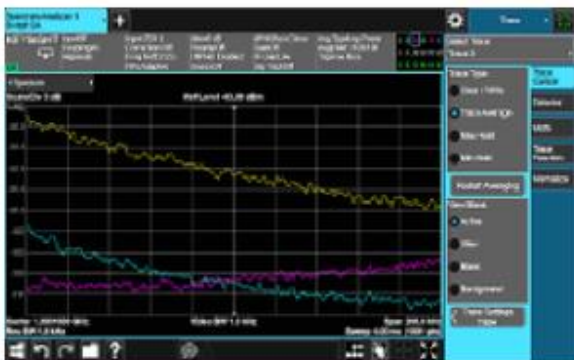
Beberapa analyzer menyediakan mode stabilisasi LO berbeda untuk mengoptimalkan derau fasa sesuai kondisi pengukuran. Contohnya, Keysight X-Series berkelas tinggi menawarkan tiga mode:

1. Optimasi derau fasa untuk offset < 140 kHz dari pembawa
Meminimalkan derau fasa dekat pembawa dengan konsekuensi derau fasa di atas offset 140 kHz sedikit memburuk.
2. Optimasi derau fasa untuk offset > 160 kHz dari pembawa
Memperbaiki derau fasa di area offset > 160 kHz dari pembawa.
3. Optimasi LO untuk penyetelan cepat
Karakter LO dikompromikan di seluruh offset $\leq \pm 2$ MHz, tetapi mempersingkat waktu ukur saat mengubah frekuensi tengah atau span.

Gambar 4.14a menampilkan perbandingan performa derau fasa pada ketiga mode, sedangkan Gambar 4.14b memperbesar area offset 140 kHz untuk memperlihatkan detail perubahannya.



Optimalisasi performa derau fasa untuk berbagai kondisi pengukuran



Detail wilayah offset pembawa 140 kHz.

Gambar 4. 14 Optimalisasi derau fasa dan detail offset

Penganalisis spektrum, seperti X-Series berperforma tinggi, memiliki mode otomatis untuk optimalisasi derau fasa yang secara cerdas mengatur instrumen guna memaksimalkan kecepatan atau rentang dinamis sesuai kondisi operasi.

Contohnya:

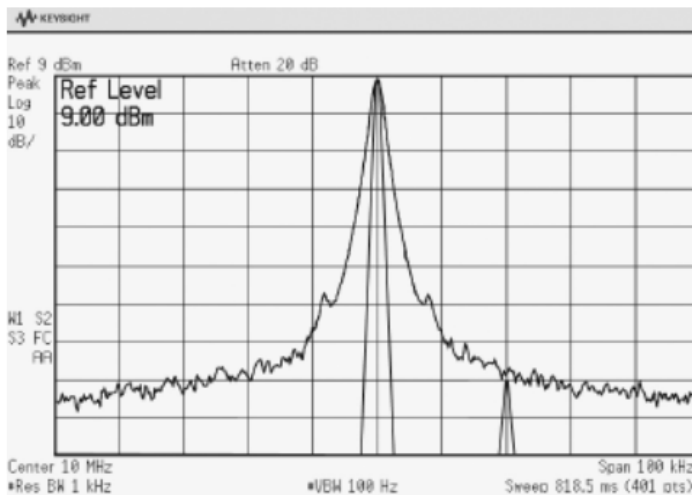
1. Mode penyetelan cepat
saat rentang (span) > 44,44 MHz atau RBW > 1,9 MHz
2. Derau fase dekat-pembawa terbaik
 - jika frekuensi tengah < 195 kHz, atau

- frekuensi tengah ≥ 1 MHz dengan span $\leq 1,3$ MHz dan RBW ≤ 75 kHz

3. Derau fase offset-lebar terbaik

bila syarat-syarat di atas tidak terpenuhi

Apa pun modenya, derau fase tetap menjadi batas utama kemampuan penganalisis spektrum untuk memisahkan sinyal beramplitudo tidak sama. Gambar 4.15 memperlihatkan dua sinyal yang sebenarnya sudah terpisah berdasarkan lebar pita 3 dB dan selektivitas. Sayangnya derau fase menutupi sinyal yang lebih kecil.



Gambar 4. 15 Derau fase menghalangi pemisahan sinyal beramplitudo tidak sama

4.4.4 Waktu Pindaian (Sweep Time)

4.4.4.1 Filter Resolusi Analog

Jika resolusi pada sebuah penganalisis spektrum berdiri sendiri, maka IF-filter resolusi tersempit adalah pilihan terbaik. Namun,

resolusi memengaruhi waktu pindaian (sweep time, ST), yang menentukan seberapa lama pengukuran selesai.

Resolusi menjadi perhatian karena filter IF merupakan rangkaian berpita-terbatas yang memerlukan waktu naik-turun (charge/discharge) tertentu. Bila produk pencampuran melintas terlalu cepat melalui filter IF, amplitudo yang ditampilkan akan lebih kecil daripada seharusnya (lihat Gambar 16). Lama suatu produk pencampuran berada di pita lolos IF sebanding dengan lebar pita resolusi (RBW) dan berbanding terbalik dengan kecepatan pindaian dalam Hz per satuan waktu, yaitu:

$$\text{Waktu di pita lolos} = \frac{\text{RBW}}{\text{Span/ST}} = \frac{(\text{RBW})(\text{ST})}{\text{Span}}$$

dengan RBW = resolution bandwidth dan ST = sweep time.

Secara alternatif, waktu naik filter berbanding terbalik terhadap lebar pitanya. Jika disertakan konstanta proporsionalitas k , maka:

$$\text{Rise time} = \frac{k}{\text{RBW}}$$

Menyetarakan kedua istilah dan menyelesaikan untuk ST diperoleh:

$$\frac{k}{\text{RBW}} = \frac{(\text{RBW})(\text{ST})}{\text{Span}}$$

$$\text{atau ST} = k \frac{\text{Span}}{\text{RBW}^2}$$

Nilai k berkisar antara 2 hingga 3 untuk filter analog near-Gaussian tersinkron yang umum digunakan.

Poin terpenting: perubahan resolusi sangat memengaruhi waktu pindaian. Pada penganalisis analog lama, setiap langkah penurunan RBW memperpanjang sweep time sekitar faktor 10. Penganalisis X-Series Keysight menggunakan langkah lebar pita 10 % agar tercapai kompromi lebih baik antara span, resolusi, dan sweep time.

Penganalisis modern secara otomatis mengaitkan sweep time dengan span dan RBW. Penyesuaian ST dilakukan otomatis demi mempertahankan tampilan terkalibrasi, meski pengguna tetap dapat menimpa pengaturan secara manual. Bila sweep time yang dipilih berada di luar rentang yang tersedia, layar akan menampilkan peringatan “*Meas Uncal*” pada sudut kanan-atas grafik.



Gambar 4. 16 Waktu sapuan terlalu cepat menurunkan amplitudo terukur dan menggeser frekuensi

4.4.5 Filter Resolusi Digital

Filter resolusi digital memengaruhi waktu sapuan (sweep-time) secara berbeda dibanding filter analog. Untuk analisis sapuan, kecepatan proses filter digital—tanpa pemrosesan tambahan—dapat mempercepat pengukuran $2 \times$ hingga $4 \times$.



A. Kecepatan sapuan penuh, RBW 20 kHz **tanpa** opsi FS1



B. Kecepatan sapuan penuh, RBW 20 kHz **dengan** opsi FS1

Gambar 4. 17 Perbandingan sweep-time tanpa dan dengan FS1

Penganalisis sinyal Keysight X-Series dengan opsi FS1 mengoreksi efek sapuan “terlalu cepat” bagi RBW antara ± 3 kHz sampai 100 kHz. Koreksi ini menurunkan sweep-time dari

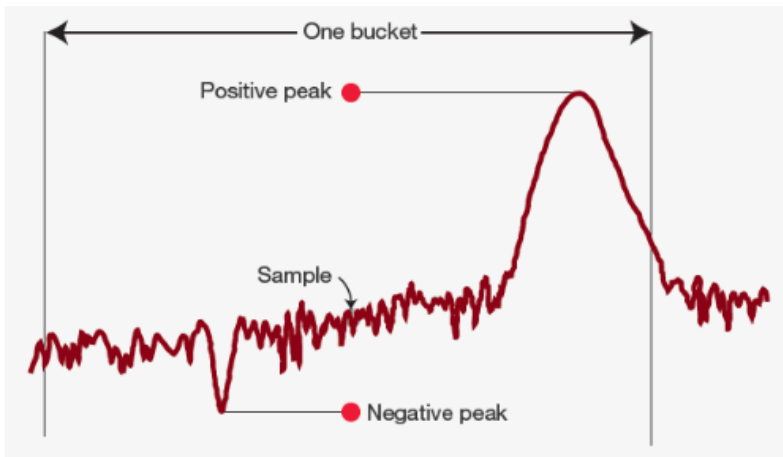
hitungan detik menjadi hanya milidetik. Tanpa koreksi (lihat Gambar 17), sweep-time akan 79,8 s. Dengan opsi FS1, sweep-time hanya 1,506 s. Untuk RBW terlebar, rumus $k = 2$ pada span 1 GHz dan RBW 1 MHz memberi sweep-time 2 ms—sangat singkat.

Keysight X-Series menggunakan FFT cepat untuk memroses data dan meraih sweep-time lebih pendek pada RBW sempit. Caranya: sinyal dipecah menjadi blok-blok frekuensi. Misal blok 1 kHz, lalu dipilih RBW 10 Hz; maka 1 kHz tersebut dianalisis serempak oleh 100 filter 10 Hz kontigu. Kecepatan sapan tinggi inilah yang menonjolkan keunggulan filter digital.

4.4.6 Jenis Detektor Tampilan

Setiap titik data pada sinyal yang ditampilkan harus merepresentasikan apa yang terjadi dalam rentang frekuensi tertentu selama selang waktu tertentu. Perhitungan tiap interval data mengekstraksi informasi yang dibutuhkan dari sinyal masukan, menyimpannya di memori, lalu menuliskannya ke layar. Mekanisme ini memberi fleksibilitas tinggi sehingga tersedia enam jenis detektor: *sample*, *positive peak (peak)*, *negative peak*, *normal*, *average*, dan *quasi-peak*.

Saat mengumpulkan data, detektor “menabung” sampel dalam sebuah *bucket* (Gambar 4.18). *Bucket* ini berisi data dari rentang frekuensi dan jangka waktu yang sama.



Gambar 4. 18 Titik jejak yang disimpan di memori ditentukan oleh algoritma jenis detector

Persamaan berikut mendefinisikan lebar *bucket* yang diterapkan detektor:

- Frekuensi: $\text{bucket width} = \text{span} / (\text{trace points} - 1)$
- Waktu: $\text{bucket width} = \text{sweep time} / (\text{trace points} - 1)$

Laju *sampling* pada setiap spectrum analyzer bisa berbeda-beda. Namun, memperkecil *span* atau memperpanjang *sweep time* meningkatkan akurasi karena jumlah sampel per *bucket* bertambah.

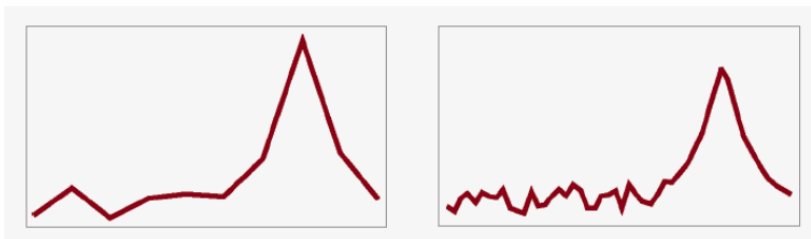
Rujuk kembali ke Gambar 18 yang memperlihatkan deteksi *sample*, *peak*, dan *negative peak*.

4.4.6.1 Deteksi Sample

Deteksi *sample* mengambil nilai instan titik data di tengah setiap *bucket*. Menghubungkan vektor antar titik sample di tiap *bucket* menghasilkan tampilan sinyal kontinu seperti pada Gambar 19.

Perbandingan dua tampilan pada Gambar 19 menunjukkan bahwa semakin banyak titik *trace* akan mereplikasi sinyal analog dengan lebih baik. Jumlah titik yang ditampilkan tergantung jenis analisator; misalnya, pada Keysight X-Series jumlah titik domain frekuensi dapat dipilih dari 1 sampai 40 001 titik.

Mode deteksi sample cukup baik untuk menunjukkan derau acak, tetapi kurang cocok menganalisis sinyal sinusoidal. Contoh: menganalisis *comb* 100 MHz dengan X-Series signal analyzer pada rentang 0 – 26,5 GHz. Dengan 1 001 titik tampilan, setiap titik merepresentasikan rentang (bucket) sebesar 26,5 MHz—jauh lebih lebar daripada RBW maksimum 8 MHz. Amplitudo sebenarnya akan terlihat hanya jika hasil pencampuran (*mixing product*) berada tepat di pusat IF. Akibatnya, deteksi sample tidak menangkap seluruh sinyal maupun puncak sebenarnya. Dari contoh ini kita belajar bahwa mode deteksi sample dapat menghasilkan pembacaan keliru jika RBW lebih sempit daripada interval sample (*bucket width*).



Gambar 4. 19 Mode deteksi sample dengan sedikit titik (kiri) dan titik lebih banyak (kanan) — replika sinyal analog semakin baik

4.4.6.2 Deteksi puncak (Peak)

Deteksi puncak menampilkan nilai maksimum pada tiap *bucket* sehingga amplitudo sesungguhnya dari suatu sinyal tidak terlewat. Mode ini menjadi standar pada kebanyakan spectrum analyzer karena mencegah hilangnya sinyal—terlepas dari lebar RBW maupun rasio lebar bucket. Namun, berbeda dengan mode sample, deteksi puncak kurang tepat menunjukkan derau acak karena hanya menampilkan puncak tertinggi dalam setiap bucket. Karenanya, analyzer yang menjadikan peak sebagai mode utama biasanya tetap menyediakan mode sample sebagai opsi pendamping.

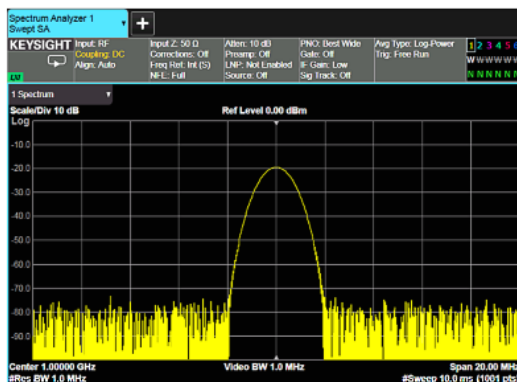
4.4.6.3 Deteksi puncak negatif (Negative Peak)

Deteksi puncak negatif menampilkan sinyal dengan mengambil nilai minimum di setiap bucket. Fitur ini memang jarang digunakan dibanding mode lain, tetapi berguna saat membedakan sinyal kontinu (CW) dari sinyal impulsif pada pengujian EMC.

4.4.6.4 Deteksi normal

Deteksi normal memberi visualisasi derau acak yang lebih representatif dibanding deteksi puncak dan tidak melewatkan sinyal seperti halnya mode sample. Ketika data di satu bucket naik dan turun (teridentifikasi oleh detektor puncak positif dan puncak negatif), mode normal mengklasifikasikannya sebagai derau. Pada kondisi derau, titik data bernomor ganjil menampilkan nilai maksimum dalam bucket, sedangkan titik bernomor genap menampilkan nilai minimum. Saat *mixing product* menyapu melewati IF, sinyal sinusoidal tampak hanya

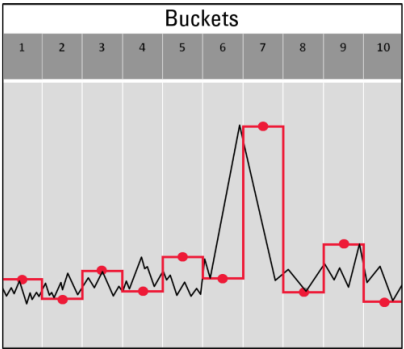
naik atau turun ketika mendekati frekuensi tengah filter; dalam kasus itu, detektor puncak positif/negatif mendeteksi perubahan amplitudo satu arah dan nilai maksimum bucket akan ditampilkan di layar, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 20.



Gambar 4. 20 Mode normal menampilkan nilai maksimum di bucket saat sinyal hanya naik atau turun

Masalah dapat muncul saat menggunakan deteksi normal bila lebar pita resolusi (RBW) relatif sempit dibanding lebar bucket. Contohnya, bila sinyal naik-turun di bucket bernomor ganjil, analyzer akan memplot nilai puncak maksimum—nilai yang memang ingin ditampilkan. Sebaliknya, bila sinyal naik-turun di bucket bernomor genap, analyzer hanya memplot nilai minimum yang ditemukannya. Nilai minimum ini bisa berbeda dari nilai puncak sesungguhnya tergantung RBW dan rasio lebar bucket. Pada kondisi ekstrem—ketika RBW jauh lebih sempit daripada bucket—perbedaan minimum yang diplot adalah selisih antara nilai puncak dan derau, seperti terlihat pada Gambar 21 (bucket 6). Contoh ini memperlihatkan bahwa, untuk bucket

ganjil, perbandingan nilai bucket sebelumnya (6) dengan bucket saat ini (7) menghasilkan nilai terbesar di bucket saat ini (7).



Gambar 4. 21 Algoritma deteksi normal memilih titik jejak

Tabel 4. 1 Algoritma deteksi normal

Sinyal di dalam bucket	Bucket bernomor genap	Bucket bernomor ganjil
Naik dan turun	Menampilkan nilai minimum (puncak negatif) di bucket. Mengingat nilai puncak maksimum.	Menampilkan nilai maksimum (puncak positif) yang ditentukan dengan membandingkan puncak bucket sebelumnya (diingat) dengan bucket saat ini.
Hanya naik atau hanya turun	Menampilkan puncak	Menampilkan puncak

Algoritma deteksi normal pada Tabel 4.1 dapat memplot nilai maksimum (puncak) satu titik data bergeser ke kanan, tetapi offset tersebut biasanya hanya sebagian kecil dari rentang frekuensi (span). Beberapa spectrum analyzer mengompensasi

potensi kesalahan ini dengan menggeser frekuensi *start* atau stop LO.

Kesalahan lain pada deteksi normal terjadi ketika satu puncak sinyal muncul sebagai dua puncak bila menggunakan RBW yang lebih lebar, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.22: tampilan menguraikan dua puncak tersebut dengan deteksi puncak (*peak detection*) dan RBW yang lebih sempit.



Gambar 4. 22 Deteksi normal dapat menampilkan dua puncak padahal hanya ada satu puncak

Dari kesalahan deteksi tersebut, kita mengetahui bahwa *peak detection* paling cocok untuk menemukan sinyal CW yang jauh di atas derau. *Sample detection* ideal untuk memonitor derau, sedangkan *normal detection* lebih baik dipakai ketika ingin melihat sinyal sekaligus derau.

4.4.7 Average detection

Average detection memanfaatkan **seluruh** nilai data yang terkumpul dalam interval waktu–frekuensi setiap bucket. Berbeda dengan mode sampling yang membuang nilai tak-relevan,

average detection merata-ratakan semua data dan menyediakan beberapa pilihan:

- Perataan daya (RMS)

Menghitung level RMS dengan mengambil akar kuadrat rata-rata kuadrat tegangan yang terukur selama interval bucket, lalu membaginya dengan impedansi masukan spectrum analyzer (umumnya $50\ \Omega$). Metode ini paling tepat untuk mengukur daya sinyal kompleks.

- Perataan tegangan linier

Merata-ratakan tegangan linier dari selubung (*envelope*) sinyal dalam interval bucket. Sering dipakai sebagai detektor serbaguna pada pengujian EMI dan pengukuran sinyal pita sempit.

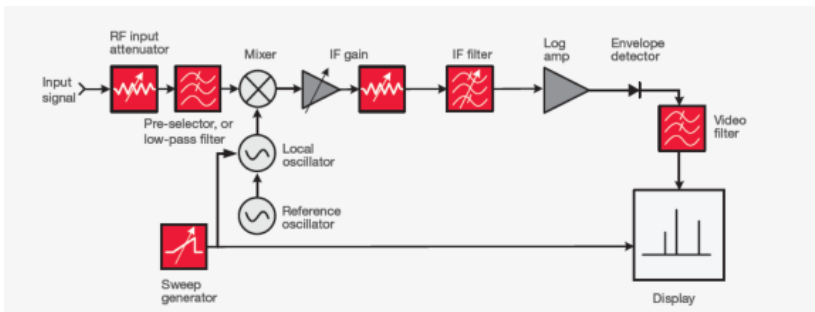
- Perataan log-power (video)

Merata-ratakan nilai amplitudo logaritmik (dB) dari selubung sinyal selama interval bucket. Pilihan ini terbaik untuk mengamati sinyal sinus yang dekat dengan lantai derau.

Keunggulan average detection dibanding sample detection terutama terletak pada penentuan daya. Mode sampel biasanya memerlukan beberapa sapuan (*sweep*) agar mengumpulkan cukup titik data untuk estimasi daya yang akurat. Sebaliknya, average detection langsung menangkap seluruh informasi daya dan menghasilkan varians yang lebih rendah dengan waktu pengukuran yang sama.

4.5 Diagram Blok Spectrum Analyzer / Komponen dan Fungsinya

Berikut ditampilkan diagram blok sederhana dari *spectrum analyzer superheterodin*. Istilah *heterodyne* berarti menggabungkan dua frekuensi tinggi yang hampir sama untuk menghasilkan frekuensi yang lebih rendah. Kata “*super*” mengacu pada frekuensi supraaudio atau frekuensi di atas rentang audio. Pada diagram blok terlihat sinyal masukan melewati attenuator RF, lalu melalui pre-selector atau low-pass filter menuju mixer, tempat sinyal tersebut dicampur dengan sinyal dari LO (local oscillator). Hasil pencampuran diperkuat oleh penguat IF (IF gain), difilter oleh IF filter, kemudian dikuatkan logaritmik (log amp) dan dideteksi selubungnya (envelope detector). Selanjutnya sinyal melewati video filter sebelum akhirnya ditampilkan pada layar.

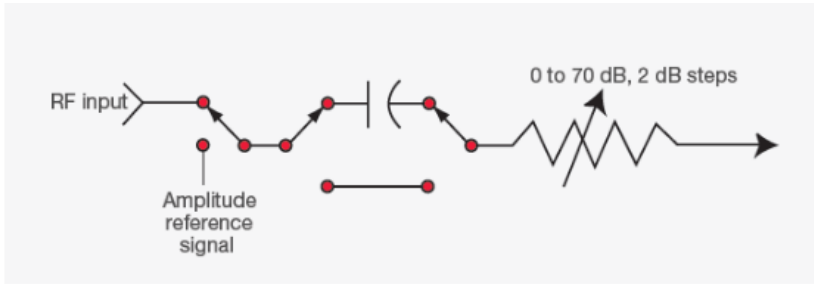


Gambar 4. 23 Diagram blok spectrum analyzer superheterodin klasik

4.5.1 Peredam RF

Spektrum analyzer diawali dengan peredam masukan RF (RF input attenuator) yang memastikan sinyal memasuki mixer pada level optimal guna mencegah kelebihan level, kompresi gain, dan

distorsi. Attenuasi protektif ini umumnya disetel otomatis sesuai *reference level*, tetapi dapat pula diatur manual dalam langkah 10 dB, 5 dB, 2 dB, atau 1 dB. Rangkaian contoh pada Gambar 4.24 menyediakan atenuasi maksimum 70 dB dalam kenaikan 2 dB.



Gambar 4. 24 Rangkaian peredam masukan RF

Kapasitor pemblokir (blocking capacitor) mencegah kerusakan akibat komponen DC/offset, tetapi sekaligus melemahkan sinyal frekuensi rendah sehingga frekuensi awal terendah analyzer menjadi 9 kHz, 100 kHz, atau 10 MHz—tergantung modelnya. Beberapa analyzer menyediakan masukan sinyal referensi amplitudo untuk keperluan kalibrasi mandiri berkala.

4.5.2 *Low-pass filter* (LPF) / Preselector

LPF menahan sinyal frekuensi tinggi agar tidak mencapai mixer, sehingga sinyal luar-pita tidak bercampur dengan LO dan memunculkan respons tak diinginkan di layar. Pada spectrum analyzer gelombang mikro, LPF sering diganti *preselector*—filter dapat-ditala yang menolak semua frekuensi selain band yang ingin diamati.

4.5.3 Mixer

Sebagai perangkat nonlinier, keluaran mixer berisi dua sinyal asli, harmoniknya, serta hasil tambah-kurang frekuensi. Hanya hasil campuran yang jatuh dalam pita lulus filter IF yang diproses lebih lanjut (diperkuat dan dikompresi secara logaritmik). *Envelope detector* menyearahkan sinyal, kemudian melewati LPF video sebelum ditampilkan. Tegangan ramp menghasilkan gerak horizontal (*sweep*) dari kiri ke kanan dan sekaligus menyesuaikan frekuensi LO secara proporsional terhadap tegangan ramp tersebut.

4.5.4 Penguat IF Bertingkat (*Variable Gain Amplifier*)

Penguat IF bertingkat berada setelah mixer. Ia mengatur posisi vertikal sinyal pada tampilan tanpa mengubah level sinyal di mixer. Saat kita mengubah gain IF, nilai *reference level* ikut disesuaikan agar skala amplitudo tetap benar. Peredam masukan dan gain IF saling dikopel: perubahan atenuasi masukan akan secara otomatis mengubah gain IF sehingga tampilan sinyal tetap berada pada posisi vertikal yang konstan.

4.6 Ringkasan

Signal analyzer merupakan instrumen pilihan untuk analisis sinyal yang melampaui ranah waktu dan masuk ke ranah frekuensi. Gelombang-gelombang sinus yang ditampilkan spectrum analyzer sebagai spektrum frekuensi membantu para teknisi menyelidiki masalah, menilai mutu perangkat atau sistem, ataupun memahami sinyal kompleks dengan lebih baik. Bergantung pada jenis sinyal yang perlu dianalisis, tersedia

beragam analyzer khusus yang dirancang sesuai aplikasinya. Dasar-dasar spectrum analyzer yang dipaparkan dalam makalah ini akan membantu Anda memulai pengukuran serta menganalisis sinyal pada aplikasi Anda.

Biografi Penulis



Asep Muhamad Soleh S.SiT., ST., M.Pd., lahir di kota Bandung 50 tahun yang lalu, pendidikan dasar di lalui di SD Negeri Babakan Sari II Bandung, sekolah menengah pertama di SMP Negeri 14 Bandung dan Sekolah Menengah atas di SMA Negeri 8 Bandung. Pada tahun 1995 menempuh sekolah kedinasan di Pendidikan dan latihan Penerbangan (PLP) Curug di Tangerang Yang kemudian berubah menjadi Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI) Curug dan kini berubah menjadi Politeknik Penerbangan Indonesia Curug (PPIC). Lulus Diploma II PLP Curug tahun 1997 dengan jurusan teknik listrik bandar udara. Kemudian mengabdikan di STPI sebagai teknisi, instruktur dan pengasuh taruna STPI Curug mulai tahun 1998. Melanjutkan pendidikan jenjang DIII teknik listrik bandar udara di Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan Surabaya pada tahun 2000. Setelah lulus DIII Dari ATKP Surabaya, melanjutkan pendidikan Sarjana teknik Elektro di Institut Teknologi Indonesia, Serpong Tangerang. Disamping itu juga melanjutkan ke jenjang DIV Ahli teknik Listrik bandar udara dan lulus tahun 2003 dan mendapatkan gelar Sarjan Sain terapan (S.SiT). Selama menjalani sekolah DIV, Kuliah S1 tetap dilanjutkan, dan lulus pada tahun 2004 dan lulus dengan gelar Sarjana Teknik (S.T.) Elektro dengan peminatan teknik kontrol. Pada tahun 2006 pindah tugas ke Balai Pendidikan dan Pelatihan Penerbangan Palembang yang sekarang menjadi Politeknik Penerbangan (BP3) Palembang. Sempat menduduki jabatan struktural selama 8 tahun, tetapi tetap mengajar di berbagai jurusan bidang penerbangan diklat di BP3 Palembang. Pada tahun 2019 menyelesaikan Magister Pendidikan (M.Pd.) di Universitas PGRI Palembang

dengan penelitian mengenai masalah pendidikan dan pelatihan dalam bidang penerbangan. Selama bekerja sebagai pendidik, telah mengikuti berbagai kursus baik dalam bidang pengajaran, maupun dalam bidang ilmu praktis penerbangan baik di dalam maupun di luar negeri. Saat ini aktif menjadi mengajar dalam bidang penerbangan, khususnya di program studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara di Politeknik Penerbangan Palembang.



Henni Prapto Karnila, ST., M.Sc., lahir di Nganjuk, Jawa Timur 47 tahun lalu, meraih gelar Sarjana Teknik Elektro dari Universitas Diponegoro Semarang pada tahun 2003. Pendidikan Magister Sistem dan Teknik Transportasi diselesaikan di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 2011. Ia berpengalaman dalam bidang

Quality Planning di PT. LG Electronics Indonesia dan Teknisi Penerbangan di Balai Teknik Penerbangan, Kementerian Perhubungan. Saat ini ia adalah Inspektur Navigasi Penerbangan Ahli Madya di Kantor Otoritas Bandar Udara Wilayah III, Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. Selain itu, ia juga menjadi dosen tidak tetap pada Program Studi Teknik Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email: hennipra@gmail.com



Galih Satria, S.Si., M.Sc., lahir dan besar di Yogyakarta. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Elektronika dan Instrumentasi di Universitas Gadjah Mada pada tahun 2008. Penulis diberikan kesempatan memperoleh kesempatan beasiswa double degree untuk menempuh pendidikan S2 Magister Manajemen dan

Teknik Transportasi di Universitas Gadjah Mada sekaligus

meraih gelar Master of Science in Airport Planning and Management (2016) di Cranfield University, Inggris. Dalam perjalanan kariernya banyak berkaitan dengan dunia keteknikan. Penulis berpengalaman sebagai Product Engineer di perusahaan swasta asing serta sebagai Teknisi Penerbangan di Balai Teknik Penerbangan, Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kementerian Perhubungan. Saat ini, penulis mengabdikan diri sebagai dosen di Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, dengan fokus keilmuan pada bidang elektronika dan instrumentasi. Di luar aktivitas akademik, penulis menyalurkan minatnya melalui membaca dan travelling. Bagi penulis, perjalanan bukan hanya sarana relaksasi, tetapi juga sumber inspirasi dan ide-ide baru yang memperkaya pengalaman hidup dan karya tulisnya.

Daftar Pustaka

- Jayakumar, K., & Balakrishnan, P. (2025). *Electronics Components and Testing: Concepts, Methods, and Applications*. Academic Guru Publishing House.
- Ariyanto, D., & Suryantoro, H. (2024). Uji Performa Handheld Oscilloscope FNISRI-1C15 pada Praktikum Elektronika. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 7(1), 25-31.
- Lastera, I. W. (2023). Penerapan Converter Osiloskop MDS 9200 pada Tegangan DC untuk Pengujian Penyearah Satu Phase pada Praktikum Elektronika Daya. *Integrated Lab Journal*, 11(01), 34-41.
- Thawn, T., Joseph, M., & Sung, M. (2023). Multipurpose Combined Power Supply, Signal Generator, & Oscilloscope.
- Rauscher, C., Janssen, V., & Minihold, R. (2007). *Fundamentals of spectrum analysis* (Vol. 25). Munich, Germany: Rohde & Schwarz.
- Witte, R. A. (1993). *Spectrum and network measurements* (pp. 140-154). Prentice Hall.
- Lastera, I. W. (2023). Penerapan Converter Osiloskop MDS 9200 pada Tegangan DC untuk Pengujian Penyearah Satu Phase pada Praktikum Elektronika Daya. *Integrated Lab Journal*, 11(01), 34-41.

- Firdaus, M. (2014). *Visualisasi prinsip kerja osiloskop Melalui buku elektronik interaktif* (Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Indonesia).
- Ariyanto, D., & Suryantoro, H. (2024). Uji Performa Handheld Oscilloscope FNISRI-1C15 pada Praktikum Elektronika. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 7(1), 25-31.
- Dayana, I. (2024). *Pengukuran Besaran Listrik*. GUEPEDIA.

ALAT UKUR DASAR ELEKTRONIKA



Asep Muhamad Soleh, S.SiT., ST., M.Pd. lahir di Bandung 50 tahun lalu. Ia menempuh pendidikan dasar di SD Negeri Babakan Sari II, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 14 Bandung dan SMA Negeri 8 Bandung. Pada tahun 1995, ia masuk sekolah kedinasan di PLP Curug yang kini dikenal sebagai Politeknik Penerbangan Indonesia Curug (PPIC). Tahun 1997 ia lulus Diploma II jurusan Teknik Listrik Bandar Udara. Sejak 1998 ia mengabdikan diri di STPI Curug sebagai teknisi, instruktur, dan pengasuh taruna. Pada tahun 2000 ia melanjutkan pendidikan DIII di ATKP Surabaya. Setelah itu, ia menempuh SI Teknik Elektro di Institut Teknologi Indonesia dan DIV Ahli Teknik Listrik Bandar Udara, lulus tahun 2003 dengan gelar S.SiT. Tahun 2004 ia menyelesaikan SI Teknik Elektro dengan peminatan Teknik Kontrol. Pada 2006, ia dipindahkan ke Balai Pendidikan dan Pelatihan Penerbangan Palembang (kini Politeknik Penerbangan Palembang). Selama delapan tahun ia menduduki jabatan struktural namun tetap mengajar di berbagai jurusan penerbangan. Tahun 2019 ia meraih gelar Magister Pendidikan (M.Pd.) dari Universitas PGRI Palembang. Saat ini, ia aktif mengajar di Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Politeknik Penerbangan Palembang.



Henni Prapto Karnila, ST., M.Sc. lahir di Nganjuk, Jawa Timur 47 tahun lalu, meraih gelar Sarjana Teknik Elektro dari Universitas Diponegoro Semarang pada tahun 2003. Pendidikan Magister Sistem dan Teknik Transportasi diselesaikan di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 2011. Ia berpengalaman dalam bidang Quality Planning di PT. LG Electronics Indonesia dan Teknisi Penerbangan di Balai Teknik Penerbangan, Kementerian Perhubungan. Saat ini ia adalah Inspektur Navigasi Penerbangan Ahli Madya di Kantor Otoritas Bandar Udara Wilayah III, Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. Selain itu, ia juga menjadi dosen tetap pada Program Studi Teknik Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email: hennipra@gmail.com



Galih Satria, S.Si., M.Sc. lahir di Yogyakarta, menempuh pendidikan SI Elektronika dan Instrumentasi di Universitas Gadjah Mada (2008) serta meraih gelar ganda S2 di bidang Manajemen dan Teknik Transportasi di UGM dan Master of Science in Airport Planning and Management di Cranfield University, Inggris (2016). Ia berpengalaman sebagai Product Engineer di perusahaan asing dan Teknisi Penerbangan di Balai Teknik Penerbangan, Kementerian Perhubungan. Saat ini, ia mengabdikan diri sebagai dosen di Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun dengan fokus keilmuan elektronika dan instrumentasi, serta menyalurkan minatnya pada membaca dan travelling.

Penerbit Smart Global Nusantara
Bumi Marina Emas Barat VII/43
Surabaya

 smartglnusantara@gmail.com

 www.smartglobalnusantara.com

Kategori: Teknik Elektronika

