

Analysis of Input Line Filters for Switching Power Supplies

Nana Subarna
nana_sub@itenas.ac.id

Institut Teknologi Nasional Bandung

ABSTRAK

Switching Power Supply (SMPS) banyak diaplikasikan karena efisiensinya yang tinggi, namun memiliki kelemahan berupa generasi derau (*noise*) elektromagnetik yang signifikan pada jalur input daya AC yaitu derau mode diferensial (*differential mode* - DM) antara jalur *line-neutral* dan derau mode bersama (*common mode* - CM) antara jalur *line/neutral-ground*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik serta efektivitas input line filter berbasis rangkaian LC dalam menekan kedua jenis derau tersebut untuk memenuhi standar *Electromagnetic Compatibility* (EMC).

Metode penelitian dilakukan melalui pemodelan teknis dan simulasi *frequency response* (AC sweep) menggunakan perangkat lunak LTspice versi 17.1.10 pada rentang frekuensi 100 Hz hingga 10 MHz.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa filter bekerja sebagai filter low-pass orde-2 dengan tingkat kemiringan redaman sebesar -40 dB/dekade. Filter LC yang diuji menghasilkan frekuensi *cut-off* = 100 kHz untuk reduksi derau DM dan 160 kHz untuk derau CM. Namun, akibat tidak adanya komponen peredam (kondisi *undamped resonance*), terjadi efek *peaking* berupa lonjakan penguatan (*gain voltage*) sebesar 16,4 dB (6,6 kali) pada derau DM dan 13,5 dB (4,7 kali) pada derau CM tepat di titik frekuensi *cut-off* tersebut.

Fenomena resonansi tidak teredam ini sangat merugikan karena dapat memperkuat derau dan bukan meredamnya apabila frekuensi gangguan luar sama dengan *fcut-off* filter. Oleh karena itu, penelitian ini menyimpulkan pentingnya penambahan jaringan *damper* RC eksternal untuk mencapai kondisi redaman kritis demi menjaga stabilitas sistem.

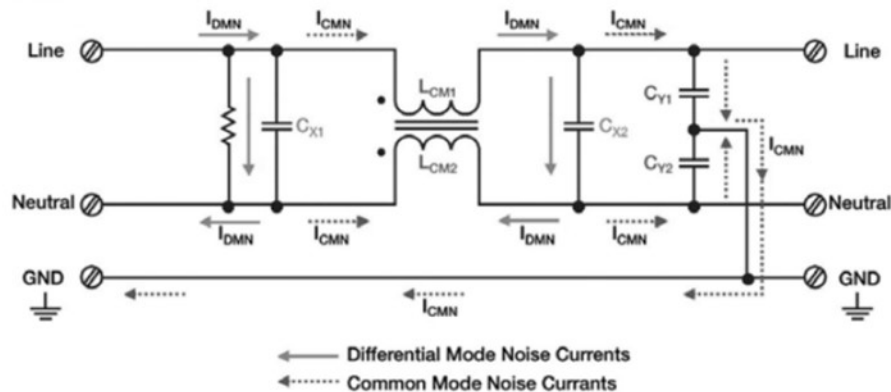
Kata Kunci: *Switching Power Supply, Input Line Filter, Electromagnetic Compatibility, Differential Mode, Common Mode, Undamped Resonance, LTspice.*

Bab 1 – Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Switching power supply (SMPS) sudah umum digunakan karena efisiensinya tinggi walaupun menghasilkan derau (*noise*) pada input line. Derau yang dihasilkan berupa derau yang terjadi antara line–neutral (mode diferensial, *differential mode*) dan derau yang terjadi line – ground,

mode bersama (common mode). Untuk memenuhi standar EMC (Electromagnetic Compatibility), diperlukan input line filter, lihat gambar 1.



Gbr. 1 Power Line Filter pada system AC [1]

Electro Magnetic Compatibility (EMC) adalah kemampuan suatu perangkat listrik atau elektronik untuk beroperasi dengan baik di lingkungan derau elektromagnetik dan tanpa menimbulkan gangguan ke lingkungannya. EMC mencakup dua aspek utama: emisi elektromagnetik (seberapa besar perangkat memancarkan gangguan) dan imunitas elektromagnetik (seberapa kuat perangkat bertahan terhadap gangguan dari luar). Dalam konteks power input line filter pada switching power supply, EMC menjadi sangat penting karena SMPS merupakan sumber derau yang signifikan. Tanpa filter yang tepat, derau diferensial maupun derau bersama dapat menyebar melalui jaringan listrik dan mengganggu kinerja perangkat lain di sekitarnya.

Input line filter berfungsi sebagai filter pertama terhadap derau yang timbul dari switching power supply maupun derau yang masuk dari jaringan listrik. Filter ini biasanya terdiri dari kombinasi induktor (common-mode choke, differential choke) dan kapasitor X/Y yang membentuk rangkaian low-pass filter. Prinsip kerjanya adalah menahan komponen frekuensi tinggi (derau) sambil tetap melewatkan komponen frekuensi rendah (tegangan AC utama).

Dalam konteks EMC, input line filter berperan penting untuk memastikan perangkat tidak memancarkan gangguan elektromagnetik berlebihan (emisi) dan tetap tahan terhadap gangguan dari luar (imunitas). Dengan adanya filter, derau mode diferensial dan derau mode bersama dapat ditekan sehingga perangkat memenuhi standar EMC internasional seperti CISPR atau IEC 61000. Tanpa input line filter, switching power supply berpotensi menjadi sumber gangguan yang menyebar melalui jaringan listrik dan mengganggu kinerja perangkat lain di sekitarnya.

1.2 Tujuan Penelitian

- Menganalisis karakteristik derau DM dan CM pada input SMPS.
- Melakukan simulasi LTspice untuk melihat frequency response filter LC.
- Membandingkan efektivitas filter terhadap DM dan CM noise.

Bab 3 – Simulasi LTspice

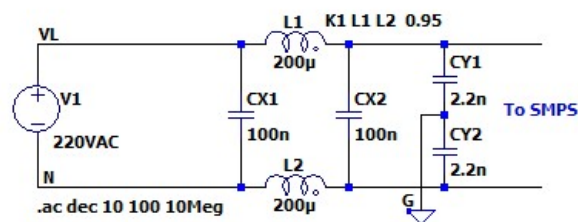
3.1 Simulator LTspice

LTspice adalah perangkat lunak simulasi rangkaian elektronik yang banyak digunakan untuk analisis frequency response (AC sweep) dan transient noise. Perangkat lunak LTspice yang digunakan adalah version (x64) : 17.1.10. Dengan LTspice, kita dapat memodelkan input line filter, melakukan pengujian terhadap derau diferensial (DM) dan derau bersama (CM), serta melihat efektivitas filter dalam meredam gangguan pada berbagai frekuensi.

3.2 Power Input Line Filter

Skema dasar filter yang digunakan adalah LC filter dengan kombinasi:

- Common-Mode Choke (CMC) → meredam derau mode bersama.
- Differential Choke → meredam derau mode diferensial.
- Kapasitor X → dipasang antara line–neutral untuk DM noise.
- Kapasitor Y → dipasang antara line/neutral ke ground untuk CM noise.



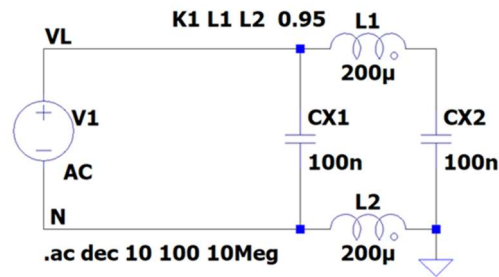
Gbr. 2 Power Line Filter untuk switching power supply [1]

Rangkaian ini membentuk low-pass filter, melewati tegangan utama (50/60 Hz) dan menahan komponen frekuensi tinggi (noise). Nilai kapasitor CX1 dan CX2 (line to line / neutral, X Capacitor,) 100nF – 220nF dan kapasitor CY1 dan CY2 (line to ground, Y capacitor) 2.2nF – 4.7nF dan induktor 100uH – 300uH.

3.3 Simulasi Derau Mode Diferensial dan Mode Bersama

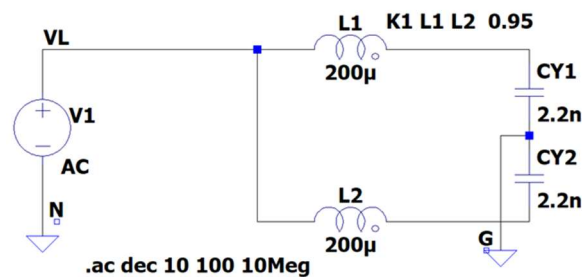
- Derau Mode Diferensial (DM) → gangguan yang muncul antara line dan neutral. Biasanya berasal dari switching transistor dalam SMPS.
- Derau Mode Bersama (CM) → gangguan yang muncul antara line/neutral terhadap ground. Umumnya disebabkan oleh kapasitansi parasitik dan coupling elektromagnetik.

Dalam simulasi LTspice, DM dan CM dapat dimodelkan dengan memisah sumber gangguan tergantung mode pengujian. Ini dilakukan karena derau masuk ke rangkaian dengan cara berbad. Untuk DM sinyal derau masuk secara konduksi melalui jalur line dan neutral sehingga rangkaian pengujian seperti pada gambar 3. Untuk memudahkan analisis, komponen yang terdampak secara tidak langsung bisa dihilangkan walaupun pada kenyataannya bisa mempengaruhi fcut-off rangkaian yang diuji.



Gbr. 3 Rangkaian pengujian derau mode diferensial.

Untuk CM sinyal derau masuk secara radiasi gelombang elektromagnetik, induktif atau kapasitif tergantung sumber deraunya. Untuk derau CM, rangkaian dimodelkan dengan menghubungkan ke dua input rangkaian bersama. Derau masuk melalui L1 – C1 – CY1 – Gnd atau L2 – C2 – CY2 - Gnd. Rangkaian pengujian seperti pada gambar 4.



Gbr. 4 Rangkaian pengujian derau mode bersama.

3.4 Pengujian Frequency Response Filter LC

Pengujian dilakukan dengan AC sweep untuk melihat Bode plot (gain vs frekuensi).

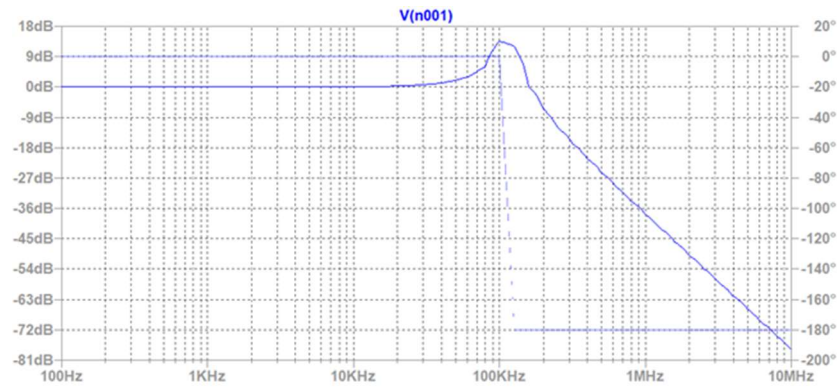
3.4.1 Derau Mode Differential

Pengujian dilakukan untuk mengetahui $f_{cut-off}$ dan redaman filter. Nilai $f_{cut-off}$ terjadi pada fesonansi rangkaian LC yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\bullet \quad f_{cut-off} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana nilai L merupakan nilai seri dari L1 dan L2 dengan koefisien kopling = 0.95 dan arah lilitan berlawanan ($\pm M$). Induktor yang digunakan adalah inductor dengan inti ferrit yang dililit secara berlawanan. Nilai C merupakan nilai kapasitor yang dipasang seri yaitu CX1 dan CX2. Simulasi dilakukan untuk mengetahui redaman output sebagai fungsi dari frekuensi.

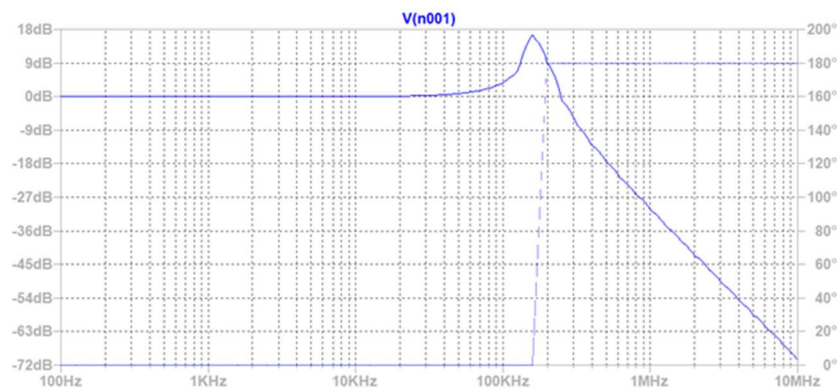
Pengukuran frekuensi respon dengan AC sweep dilakukan dengan memberi tegangan AC konstan sebesar 1 volt dengan frekuensi variable dari 100Hz – 10MHz. Untuk pengujian AC sweep diperoleh kurva low pass filter, seperti gambar 4.



Gbr. 4 Respon frekuensi derau mode diferensial.

3.4.2 Derau Mode Bersama

Pengujian sama dengan mode bersama yaitu AC sweep untuk daerah yang 100Hz – 10Mhz.



Gbr. 6 Respon frekuensi derau mode bersama.

Bab 4 – Analisis

Hasil simulasi dilakukan untuk mengetahui redaman output sebagai fungsi dari frekuensi. Untuk derau DM diketahui dari kurva dapat dilihat $f_{cut-off} = 100 \text{ kHz}$ dan untuk derau CM dapat dilihat $f_{cut-off} = 160 \text{ kHz}$. Redaman filter sebesar -40dB/decade yang merupakan redaman filter orde-2.

Kedua kurva menunjukkan bahwa $f_{cut-off}$ terjadi pada saat resonansi tidak teredam (undamped resonance) dengan penguatan 13.5 dB ($=4.7 \times$) dan untuk derau DM pada $f_{cut-off}$ terdapat penguatan 16.4 dB ($=6.6 \times$). Efek peaking pada resonansi tidak teredam ini sangat merugikan jika derau yang masuk filter terjadi mempunyai frekuensi yang sama dengan dengan $f_{cut-off}$ filter [3][4]. Misal pada LC filter untuk kendaraan dimana $f_{cut-off}$ filter LC kendaraan ada di daerah frekuensi ripple alternatornya. Derau ripple alternator bukan diredam tapi diperkuat dan bisa masuk system audio.

Untuk mengatasi masalah undamped resonance ini dapat diatasi dengan menggunakan damper RC untuk mendapatkan redaman kritis. Perancangan redaman kritis pada LC filter akan dibahas pada laporan lainnya.

Bab 5 – Kesimpulan

Input line filter berbasis rangkaian LC efektif digunakan untuk memotong derau frekuensi tinggi pada *Switching Power Supply* (SMPS) dengan karakteristik redaman filter orde-2 sebesar -40 dB/dekade.

Berdasarkan hasil simulasi LTspice, filter ini berhasil menghasilkan frekuensi *cut-off* sebesar 100 kHz untuk meredam derau *Differential Mode* (DM) dan 160 kHz untuk derau *Common Mode* (CM). Namun, kondisi filter yang tidak teredam (*undamped resonance*) menimbulkan efek *peaking* berupa lonjakan penguatan tegangan yang signifikan tepat pada titik frekuensi *cut-off* tersebut.

Fenomena ini sangat merugikan bagi performa sistem kelistrikan karena dapat memperkuat gangguan jika frekuensi derau luar bersinggungan dengan titik resonansi filter. Oleh karena itu, perancangan filter wajib disesuaikan dengan standar EMC dan memerlukan penambahan jaringan peredam (*damper*) RC eksternal untuk mencapai kondisi redaman kritis.

Daftar Pustaka

- 1) Yigit, Nurcan at al, *An EMI Filter Design for DC-DC Converter*, ELECO 2025 International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa, Turkiye, November 27-29, 2025.
- 2) Ott, H. W. (2009). *Electromagnetic compatibility engineering*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- 3) *Stability Analysis and Resonance Damping of LC Filter-Based Voltage Source Converter With Single-Loop Voltage Control*, IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2025.
- 4) Sclocchi , Michele, *Input Filter Design for Switching Power Supplies*, Texas Instruments,