

Simulasi Rangkaian Wilson Central Terminal (WCT) dengan LTSpice

Alan Firdaus

25 Agustus 2025

1 Pendahuluan

Wilson Central Terminal (WCT) adalah titik referensi buatan atau **virtual** yang digunakan dalam **elektrokardiografi (EKG)** permukaan. Fungsi utamanya adalah untuk menyediakan **nol potensial (0V)** yang stabil, yang digunakan sebagai referensi untuk mengukur tegangan dari elektroda lain, seperti pada sadapan unipolar dada (V1–V6)¹.

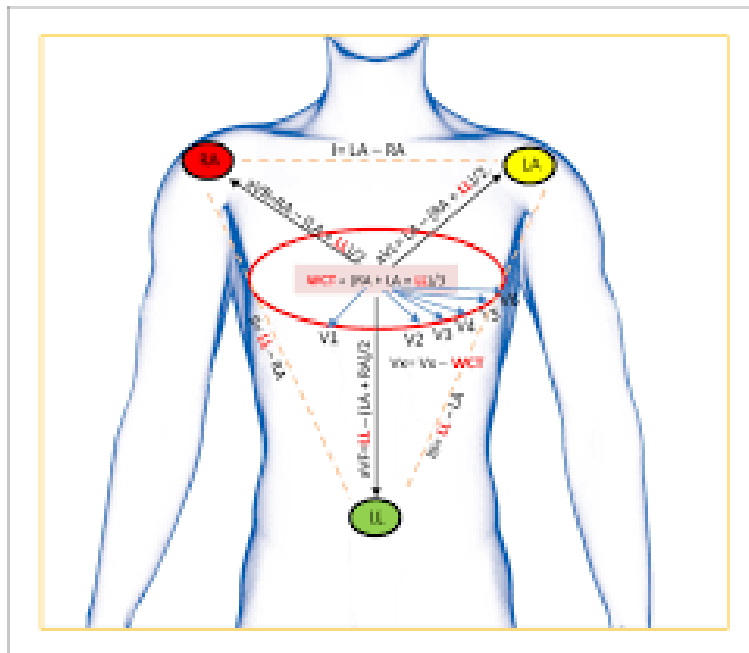


Figure 1: Wilson Central Terminal

¹Wilson's Central Terminal adalah titik referensi virtual yang dibentuk dari rata-rata tegangan RA, LA, dan LL. Lihat penjelasan di <https://cardiologyoutlines.com/wilsons-central-terminal/>.

2 Bagaimana WCT Dihitung

WCT dibuat dengan menggabungkan dan merata-ratakan tegangan dari tiga elektroda anggota badan, yaitu:

- **RA**: Elektroda Lengan Kanan (Right Arm)
- **LA**: Elektroda Lengan Kiri (Left Arm)
- **LL**: Elektroda Kaki Kiri (Left Leg)

Berikut ini adalah contoh gambar dari penempatan Elektroda RA, LA, dan LL seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

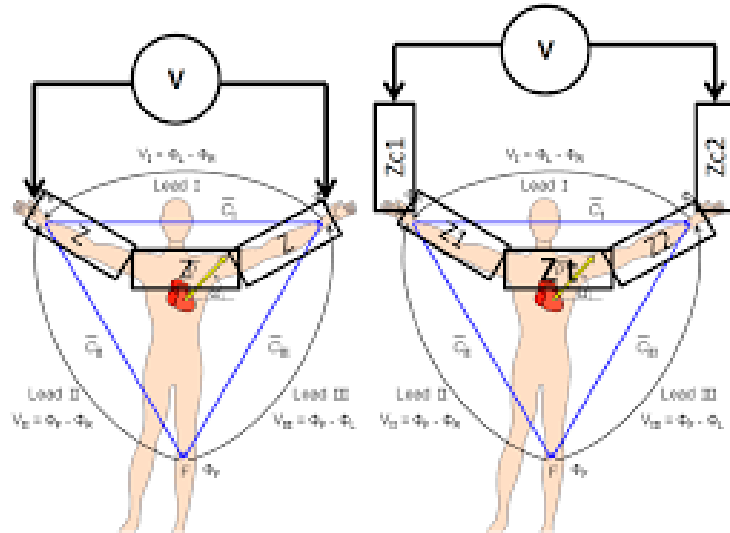


Figure 2: Aplikasi dari penempatan elektroda EKG

3 Simulasi dengan LTSpice

Simulasi ini bertujuan untuk memvalidasi teori pembagi tegangan yang digunakan dalam pembentukan WCT, serta mengamati bagaimana tegangan referensi nol tercipta dari kombinasi elektroda RA, LA, dan LL².

- V_{RA+LA} : Tegangan antara Elektroda RA dan LA

²Simulasi pembentukan WCT menggunakan LTSpice dapat dilihat pada proyek GitHub https://github.com/BlackBox-Ops/Eksperiment_Simulation_WCT_Theorem.

- V_{LA+LL} : Tegangan antara Elektroda LA dan LL
- V_{RA+LL} : Tegangan antara Elektroda RA dan LL

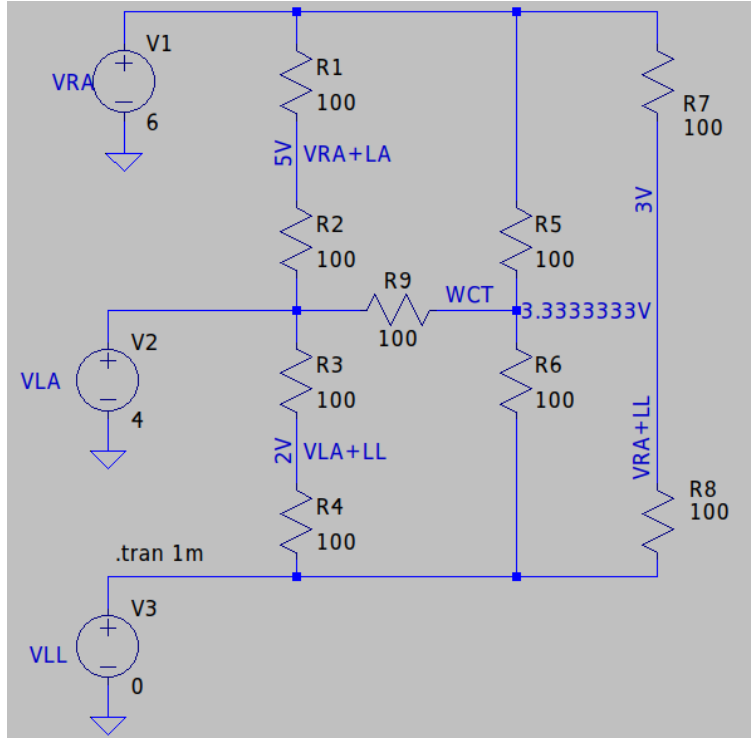


Figure 3: Rangkaian WCT dengan LTSpice

3.1 Menghitung Tegangan V_{RA+LA}

$$V_{RA+LA} = V_{LA} + \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) (V_{RA} - V_{LA})$$

$$\begin{aligned} V_{RA+LA} &= 4V + \left(\frac{100}{200} \right) \times (6V - 4V) \\ &= 4V + 1V = 5V \end{aligned}$$

Hasil perhitunagn manual ternyata sama dengan hasil simulasi LTSpice seperti yang ditunjukkan gambar berikut :

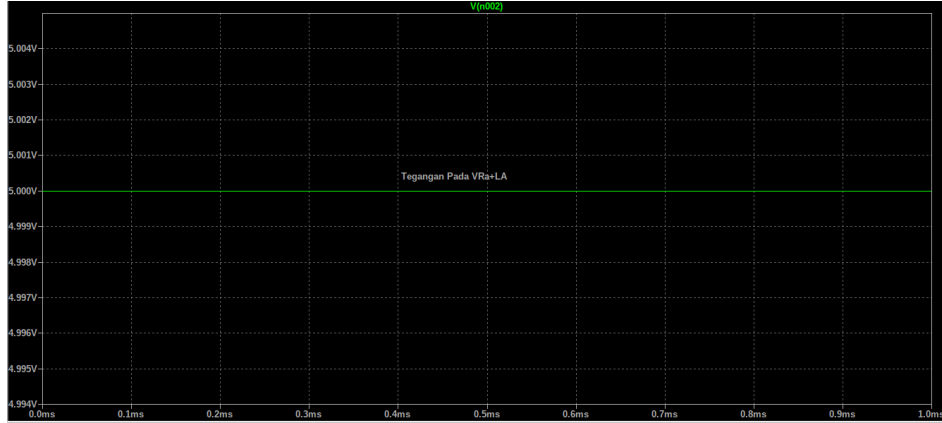


Figure 4: Hasil simulasi LTSpice untuk tegangan V_{RA+LA}

3.2 Menghitung Tegangan V_{LA+LL}

$$V_{LA+LL} = V_{LL} + \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) (V_{LA} - V_{LL})$$

$$\begin{aligned} V_{LA+LL} &= 0V + \left(\frac{100}{200} \right) \times 4V \\ &= 2V \end{aligned}$$

Hasil perhitunagn manual ternyata sama dengan hasil simulasi LTSpice seperti yang ditunjukkan gambar berikut :

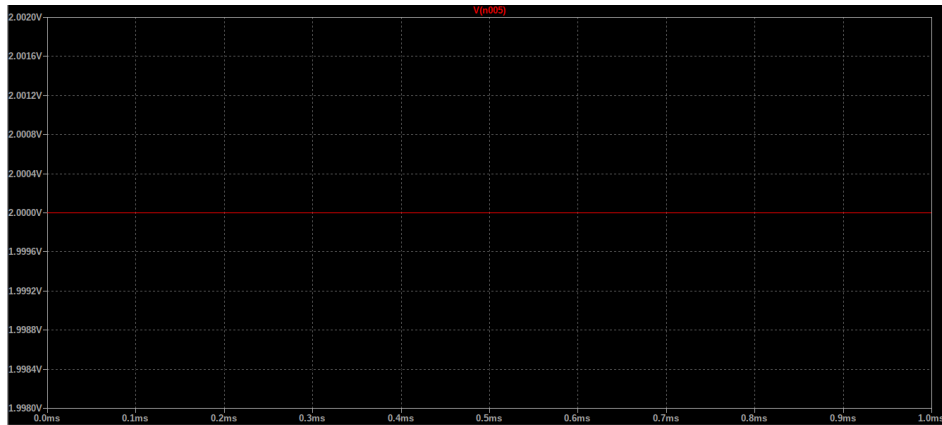


Figure 5: Hasil simulasi LTSpice untuk tegangan V_{LA+LL}

3.3 Menghitung Tegangan V_{RA+LL}

$$V_{RA+LL} = V_{LL} + \left(\frac{R_8}{R_7 + R_8} \right) (V_{RA} - V_{LL})$$

$$\begin{aligned} V_{RA+LL} &= 0V + \left(\frac{100}{200} \right) \times 6V \\ &= 3V \end{aligned}$$

Hasil perhitunagn manual ternyata sama dengan hasil simulasi LTSpice seperti yang ditunjukkan gambar berikut :

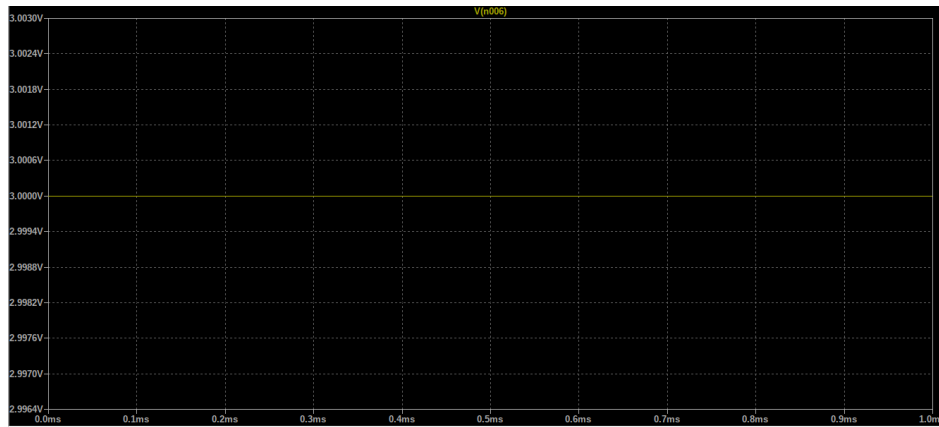


Figure 6: Hasil simulasi LTSpice untuk tegangan V_{RA+LL}

3.4 Validasi Hukum Einthoven:

Berikutnya adalah melakukan analisis dan pembuktian untuk Lead I, Lead II dan Lead III. dengan menggunakan persamaan dari hukum segitiga einthouven

Lead I:

$$\text{Lead I} = V_{LA} - V_{RA} = 4V - 6V = -2V$$

Lead II:

$$\text{Lead II} = V_{LL} - V_{RA} = 0V - 6V = -6V$$

Lead III:

$$\text{Lead III} = V_{LL} - V_{LA} = 0V - 4V = -4V$$

$$\text{Lead I} + \text{Lead III} = -2V + (-4V) = -6V = \text{Lead II}$$

Hasil ini sesuai dengan hukum Einthoven.³

3.5 Perhitungan Augmented Limb Leads

Augmented leads dikalkulasi berdasarkan kombinasi dua elektroda terhadap satu elektroda positif:

aVR:

$$aVR = V_{RA} - \frac{V_{LA} + V_{LL}}{2} = 6V - \frac{4V + 0V}{2} = 6V - 2V = 4V$$

aVL:

$$aVL = V_{LA} - \frac{V_{RA} + V_{LL}}{2} = 4V - \frac{6V + 0V}{2} = 4V - 3V = 1V$$

aVF:

$$aVF = V_{LL} - \frac{V_{RA} + V_{LA}}{2} = 0V - \frac{6V + 4V}{2} = 0V - 5V = -5V$$

4 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa tegangan Wilson Central Terminal (WCT) merupakan rata-rata dari ketiga tegangan elektroda anggota badan: dan hasil simulasi LTSpice sepenuhnya valid dengan perhitungan manual

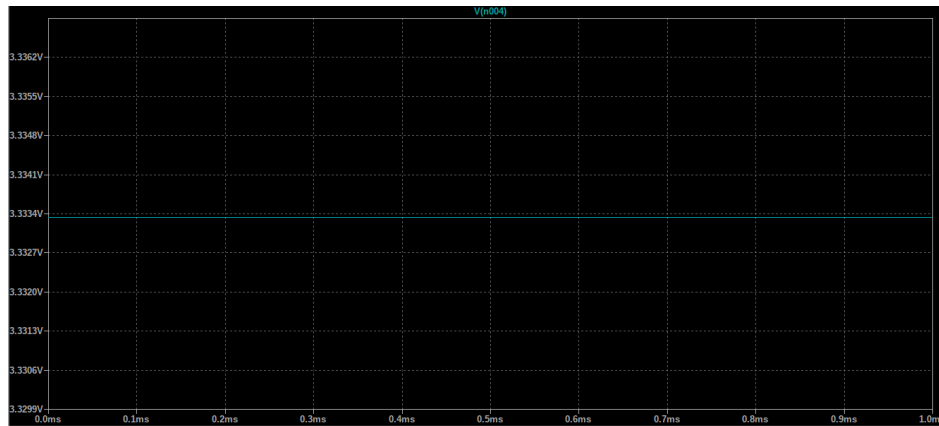


Figure 7: Hasil simulasi LTSpice untuk tegangan *WCT*

$$V_{WCT} = \frac{V_{RA} + V_{LA} + V_{LL}}{3} = \frac{6V + 4V + 0V}{3} = 3.33V$$

³Lihat penjelasan tentang Einthoven's Law di Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Einthoven%27s_triangle

Validasi hukum Einthoven menunjukkan bahwa:

$$\text{Lead II} = \text{Lead I} + \text{Lead III}$$

Perhitungan augmented limb leads memberikan:

$$aVR = 4V, \quad aVL = 1V, \quad aVF = -5V$$

Nilai ini digunakan sebagai titik referensi nol dalam sistem EKG 12-lead untuk sadapan unipolar dada⁴. Simulasi LTSpice berhasil menunjukkan bahwa pembagi tegangan dapat merepresentasikan pembentukan WCT secara akurat⁵.

⁴Data klinis dan validasi eksperimental tentang WCT tersedia dalam Wilson Central Terminal ECG Database oleh Moeinzadeh dan Gargiulo (2019), <https://physionet.org/content/wctecgdb/1.0.0/>.

⁵Wilson, F.N., Johnston, F.D., Rosenbaum, F.F., et al. (1944). The precordial electrocardiographic leads. *Circulation*.