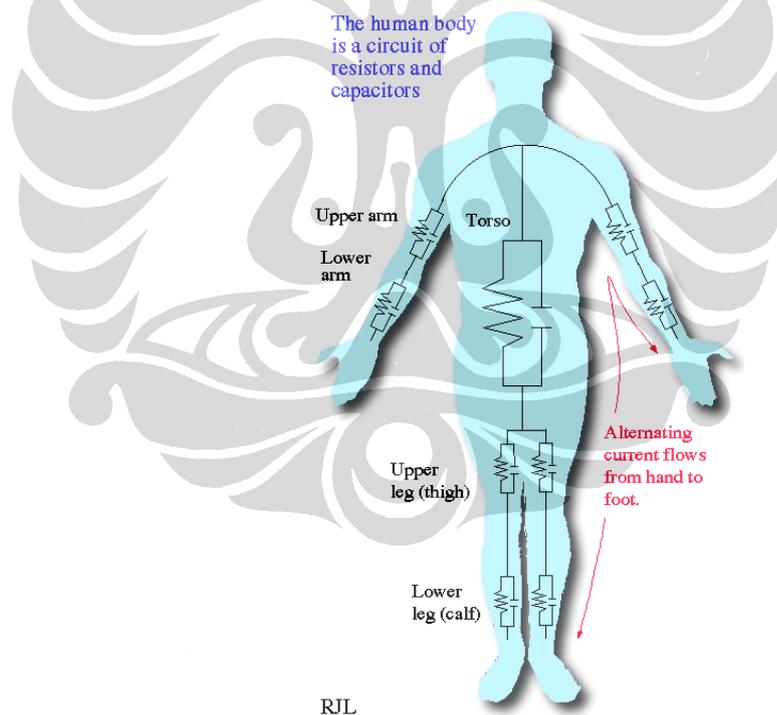


BAB 3

PEMODELAN

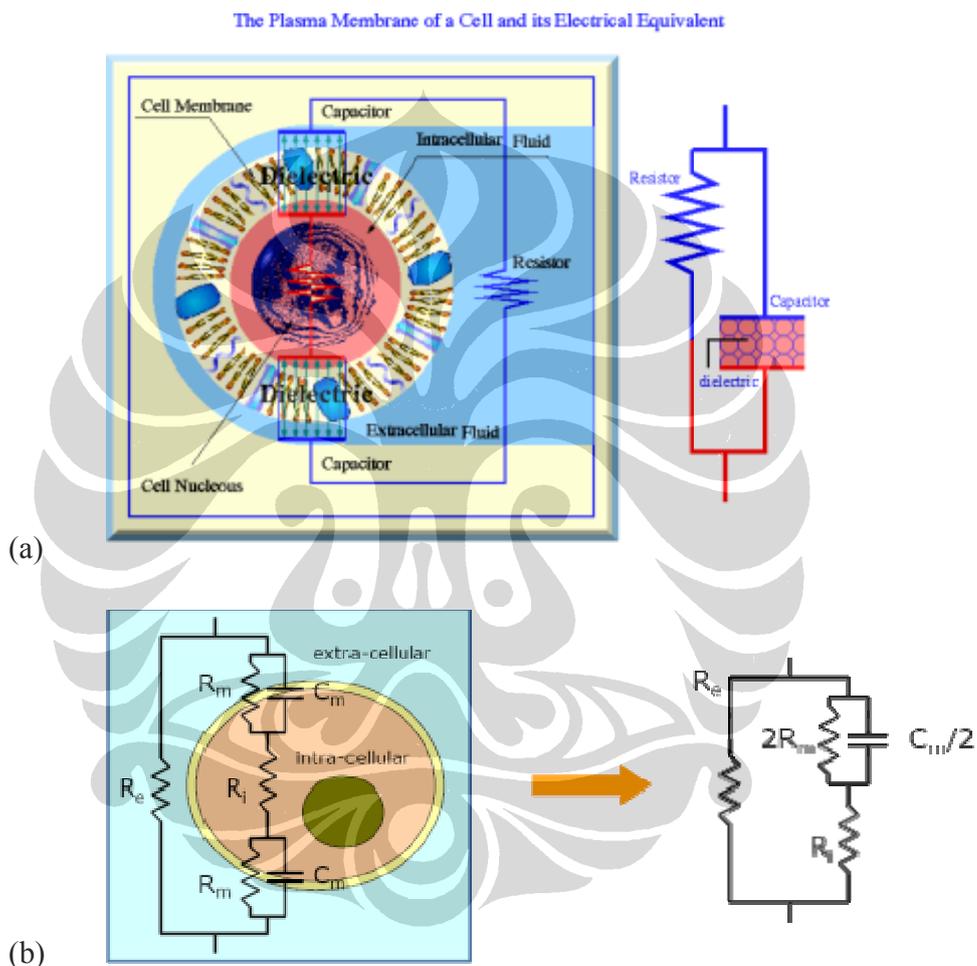
Ada beberapa cara untuk mengukur *electronics properties* dengan manusia sebagai *device under test*, yaitu *Bio Impedance Analyzer (BIA)*, *Optic Analysis*, dan lain-lain. Menurut beberapa ahli dalam bidang *biomedical instrumentation*, rangkaian pengganti untuk tubuh manusia dapat digambarkan pada Gambar 3.1. Rangkaian pengganti dari tubuh manusia, yaitu rangkaian yang *series* antar satu bagian tubuh secara makro. Namun jika dilihat dalam sisi mikroskopis maka setiap lapisan terdiri dari bagian RC yang paralel dalam bentuk impedansi/admittansi.



Gambar 3.1 Rangkaian Ekuivalen Tubuh Manusia Secara Makro BIA metode [15]

Tubuh manusia jika dilihat dengan lebih mikroskopis pada *cell* maka dapat dilihat elektronik ekivalennya menjadi seperti pada Gambar 3.2. Pada kedua gambar

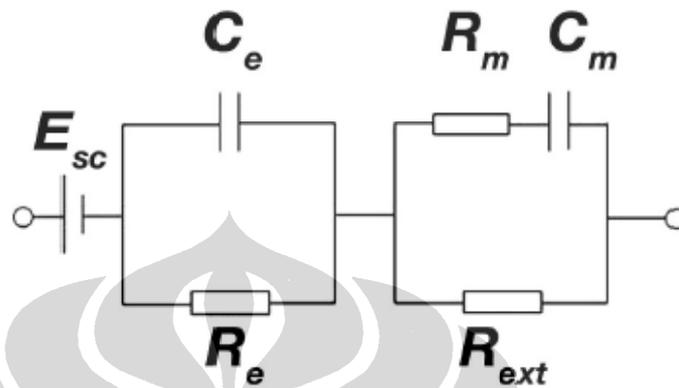
dinyatakan bahwa besarnya rangkaian ekivalen membran atau batas *cell* antara *extracelular* dan *intracelular* terdiri atas rangkaian RC paralel dan untuk bagian *intracelular* terdiri dari rangkaian *series* R terhadap rangkaian *extracelular*. Dan semua rangkaian yang lebih mikroskopis (*intracelular*) akan paralel dengan rangkaian yang lebih makroskopis (*extracelular*).



Gambar 3.2 (a).Elektronik Ekivalen Jaringan Secara Mikro BIA *methode* [16]
(b). Elektronik Ekivalen untuk 1 buah *cell* [7]

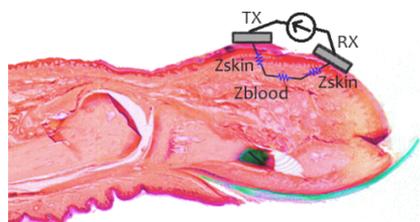
Untuk mengetahui properties glukosa di dalam beberapa lapisan yang ada di dalam kulit diperlukan pemodelan rangkaian listrik untuk dapat menggambarkan perubahan dari fungsi jaringan tersebut. Pada Gambar 3.3 merupakan pemodelan

yang dilakukan pada bagian daun telinga yang dapat menggambarkan perubahan glukosa di dalam tubuh [17].



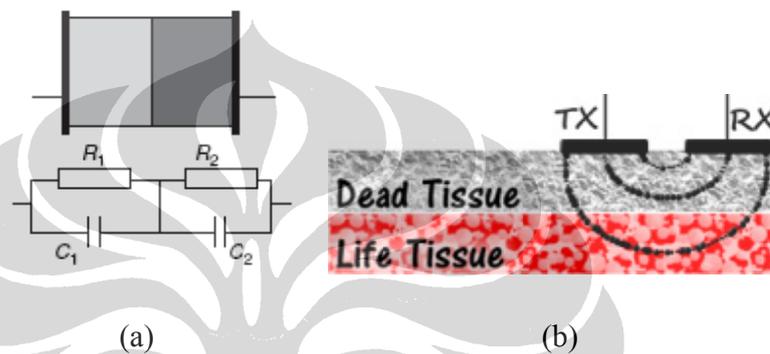
Gambar 3.3 Pemodelan Rangkaian Elektronik untuk Pengukuran Glukosa pada Telinga [17]

Media yang akan dibahas untuk riset ini merupakan ujung jari dimana ujung jari dipilih berdasarkan beberapa alasan, yaitu penggunaan yang sama dengan metode invasive dan bagian kulit yang memiliki jaringan yang sederhana [3]. Pemodelan rangkaian elektronik pada ujung jari juga menggunakan metode yang sama dengan Gambar 3.3, yaitu menggambarkan rangkaian elektronik dari ujung jari untuk memberikan nilai karakteristik dari perubahan yang diinginkan. Penggambaran menggunakan bentuk dari rangkaian impedansi. Namun dalam perhitungannya karakteristik dari perubahan tersebut digambarkan ke dalam bentuk admittansi. Admittansi dapat menggambarkan nilai *permittivity* dan *conductivity* secara langsung. Penggambaran pada ujung jari tampak pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Finger Devais Model*

Beberapa teori yang mendukung pemodelan rangkaian listrik ekivalen pada jaringan tubuh manusia, yaitu teori model Maxwell-Wagner, teori P. Debye dan teori rangkaian 2R-1C. Teori Maxwell-Wagner merupakan teori yang menggambarkan hubungan 2 buah lapisan yang memiliki sifat dielectric yang tampak pada Gambar 3.5.(a) sedangkan dibandingkan dengan lapisan kulit ujung jari digambarkan pada Gambar 3.5.(b).



Gambar 3.5 (a). Maxwell-Wagner Model untuk 2 Lapisan berbeda [10]
(b). Layer pada Kulit Jari

Sifat dielectric tergantung pada sifat *permittivity* pada capacitance sehingga Maxwell-Wagner mengasumsikan 2 sifat dalam tiap lapisan, yaitu bentuk reactance dan bentuk capacitance yang pada rangkaian Gambar 3.5. Perumusan model Maxwell-Wagner diubah ke dalam bentuk admittansi sehingga tampak pada Persamaan 3.1 hingga 3.3.

$$Y'_{(\omega)} = \frac{[(G_1+G_2)(G_1G_2-\omega^2C_1C_2)-\omega^2(C_1+C_2)(C_1G_2+C_2G_1)]}{[(G_1+G_2)^2+\omega^2(C_1+C_2)^2]} \quad (3.1)$$

$$Y''_{(\omega)} = \frac{\omega[(G_1+G_2)(C_1G_2+C_2G_1)-(C_1+C_2)(G_1G_2-\omega^2C_1C_2)]}{[(G_1+G_2)^2+\omega^2(C_1+C_2)^2]} \quad (3.2)$$

$$Y_{(\omega)} = Y'_{(\omega)} + jY''_{(\omega)} \quad (3.3)$$

Konsep Maxwell-Wagner, yaitu mengubah dua rangkaian yang diseriikan menggambarkan lapisan tiap unsur yang kompleks antara rangkaian RC paralel yang

tampak pada Gambar 3.5 menjadi satu buah rangkaian RC paralel. Maxwell-Wagner seakan memisahkan rangkaian menjadi 2 buah komponen, yaitu R dan C_{ext} yang merupakan rangkaian kapasitor pengganti untuk rangkaian yang kompleks tersebut. Dengan menggunakan asumsi bahwa akan terjadi resonansi pada saat nilai phase ω bernilai 0 dan ∞ , maka didapat persamaan teori P.Debye pada Persamaan 3.4 hingga 3.6. τ_y dan τ_c merupakan kondisi *relaxation time* pada saat kondisi awal tampak juga pada Persamaan 3.7

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} Y(\omega) \dots\dots\dots (3.4)$$

$$Y'_{(0)} = \frac{(G_1 G_2)}{(G_1 + G_2)}$$

$$Y''_{(0)} = 0$$

$$C_{ext} = \frac{(C_1 G_2^2 + C_2 G_1^2)}{(G_1 + G_2)^2} \quad \varphi = 0^\circ$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} Y(\omega) \dots\dots\dots (3.5)$$

$$Y'_{(\infty)} = \frac{[(G_1 + G_2)(C_1 C_2) - (C_1 + C_2)(C_1 G_2 + C_2 G_1)]}{(C_1 + C_2)^2}$$

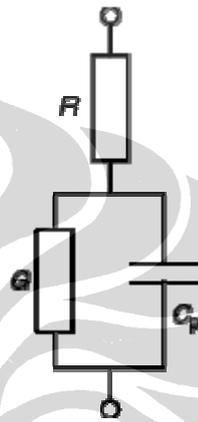
$$Y''_{(\infty)} = \frac{\omega(C_1 C_2)}{(C_1 + C_2)}$$

$$C_{ext} = \frac{(C_1 C_2)}{(C_1 + C_2)} \quad \varphi = 90^\circ$$

$$Y^* = Y_\infty + \frac{(Y_0 - Y_\infty)}{[1 + (\omega \tau_y)^2]} \quad \text{dan} \quad C^* = C_\infty + \frac{(C_0 - C_\infty)}{[1 + (\omega \tau_c)^2]} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\tau_y = \frac{1}{G_1 + G_2} \left(\frac{C_1^2}{G_1} + \frac{C_2^2}{G_2} \right) \quad \text{dan} \quad \tau_c = \frac{1}{G_1 + G_2} (C_1 + C_2) \dots\dots\dots (3.7)$$

Model akhir atau model pengganti dari model Maxwell Wagner dengan P.Debye merupakan model sebuah RC paralel. Oleh karena itu masih diperlukan analisa terhadap model lainnya , yaitu model 2R-1C series circuit yang menggambarkan nilai konduktivitas yang tampak pada Gambar 3.6. Persamaan admittansi dari model 2R-1C series tampak pada persamaan (3.8).



Gambar 3.6 2R-1C series Model [7]

Persamaan 3.8 merupakan besaran nilai admittansi total yang besarnya dapat diukur melalui alat ukur. Nilai dari Persamaan 3.8 merupakan nilai akhir admittansi yang didalamnya terdapat unsur glukosa yang berubah-ubah. Berdasarkan karakteristik yang dapat dibaca , yaitu besaran konduktivitas total dari rangkaian ekivalen ujung terhadap perubahan glukosa.

$$Y^* = \frac{G_p(1+(R G_p))+(w^2 C_p^2 R)+j\omega C_p}{(1+R G_p)^2+w^2 C_p^2 R^2} \dots\dots\dots (3.8)$$

Berdasarkan data pada Tabel 3.1, maka dibentuk dua buah model yang memiliki karakteristik masing-masing , yaitu perubahan *capacitance* pada bagian dermis dan bagian darah. Pemodelan ini dibuat dengan tujuan menganalisa perubahan karakteristik pada dua bagian , yaitu pada bagian dermis dan pada bagian darah. Pada model 1 difokuskan perubahan glukosa pada bagian dermis. Sedangkan pada model 2 difokuskan pada bagian darah.

Tabel 3.1 Data Konduktivitas Jaringan Kulit [18]

Tissue	σ (S/m) 1 Hz–10 kHz	σ (S/m) ca 1 MHz	φ_{\max} @ <10 MHz	anisotropy
Human skin, dry	10^{-7}	10^{-4}	80°	?
Human skin, wet	10^{-5}	10^{-4}	30°	?
Bone	0.005–0.06		20°	Strong
Fat	0.02–0.05	0.02–0.05	3°	Small
Lung	0.05–0.4	0.1–0.6	15°	Local
Brain (grey matter)	0.03–0.4	0.15	15°	Small
Brain (white matter)	0.03–0.3			Strong
Liver	0.2	0.3	5°	?
Muscle	0.05–0.4	0.6	30°	Strong
Whole blood	0.7	0.7	20°	Flow dependent
Urine	0.5–2.6	0.5–2.6	0°	0
CSF	1.6	1.6	0°	0
Saline, 0.9%, 20°C	1.3	1.3	0°	0
Saline, 0.9%, 37°C	2	2	0°	0
Seawater	5	5	0°	0

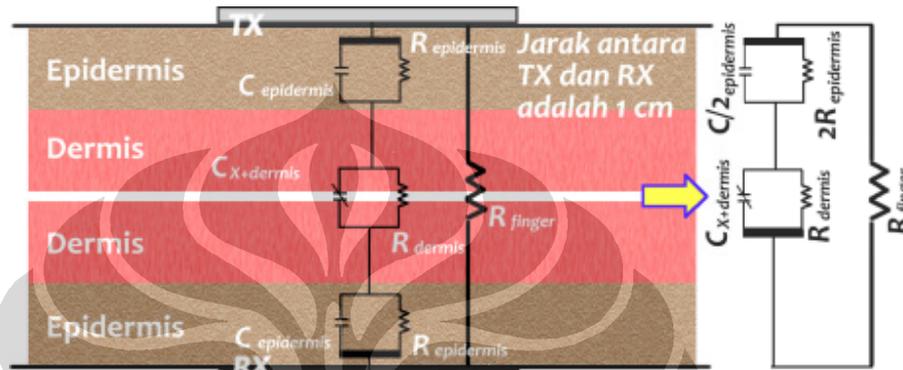
Dalam penggunaan data pada Tabel 3.1 diperlukan beberapa asumsi, yaitu bagian jaringan kulit yang terbagi atas 2 bagian, yaitu yang kering dan yang lembab diasumsikan sebagai jaringan kulit epidermis (*human skin, dry*) dan jaringan kulit dermis (*human skin, wet*). Untuk kadar darah diasumsikan sebagai bagian darah yang murni dimana tidak tercampur dengan bagian dari kadar glukosa.

3.1 MODEL 1

Model 1 adalah model yang menggambarkan elektronik properties dimana diasumsikan bahwa besaran kadar glukosa yang terdapat dalam darah pada bagian dermis banyak mempengaruhi besaran nilai *capacitance* pada bagian dermis sehingga nilai *capacitance* pada dermis akan mudah terbaca. Berdasarkan pemodelan Gambar 3.5, maka bentuk model rangkaian listrik pengganti pada sebuah ujung jari menjadi Gambar 3.7.

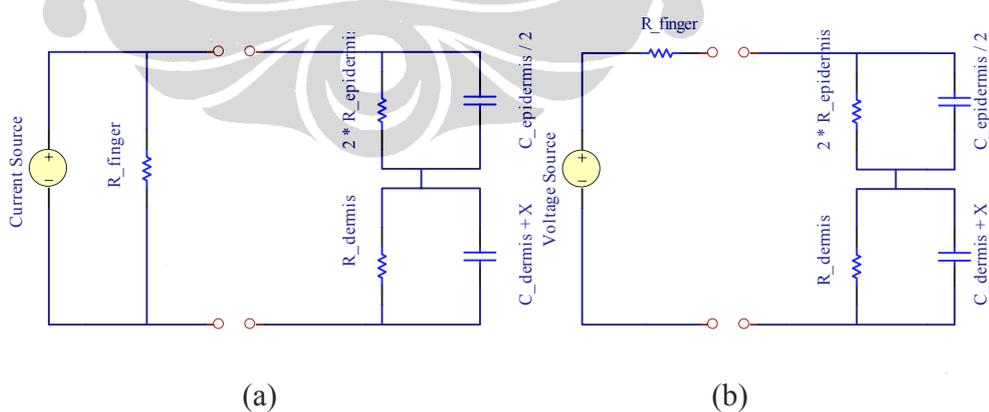
Gambar rangkaian yang terbentuk terdiri dari rangkaian model Maxwell-Wagner yang menggambarkan pada model 1 ini terdiri dari 2 buah lapisan, yaitu epidermis dan dermis. Model Maxwell-Wagner ini terhubung *series* dengan nilai resistansi jari.

Dengan menyederhanakan bentuk rangkaian menjadi bentuk yang lebih mudah dipahami maka dibutuhkan bentuk sederhana dari rangkaian *norton* dan *thevenin*. Rangkaian sebenarnya sesuai dengan implementasi alat pada Gambar 3.3, sumber masukan berupa sumber arus AC yang kemudian disederhanakan dalam *thevenin* pada Gambar 3.8(b) sebagai sumber tegangan.



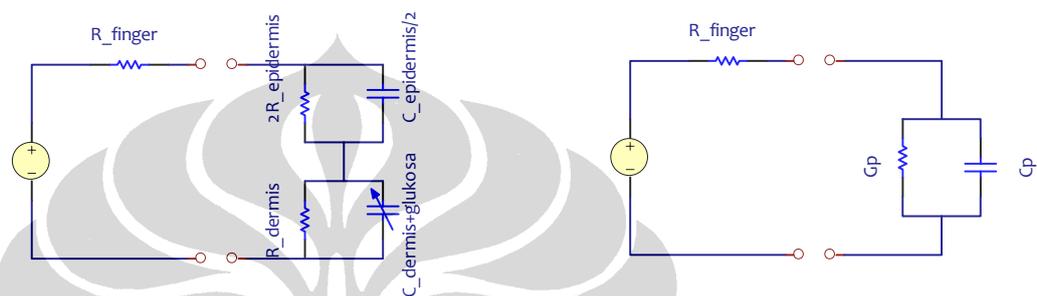
Gambar 3.7 Rangkaian Ekuivalen Model 1

Jika rangkaian pada Gambar 3.8 di ubah ke dalam bentuk sistem *network*, maka model 1 terdiri atas 2 buah model sistem, yaitu model Maxwell-Wagner dan model 2R-1C yang nilai karakteristiknya dilihat berdasarkan nilai *conductivity* & *permittivity* dari rangkaian keseluruhan. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 3.9. Penyederhanaan dengan sistem *network*.



Gambar 3.8 (a). Rangkaian Impedansi *Norton* Ekuivalen Model 1 yang lebih sederhana
(b). Rangkaian Impedansi *Thevenin* Ekuivalen Model 1 yang lebih sederhana

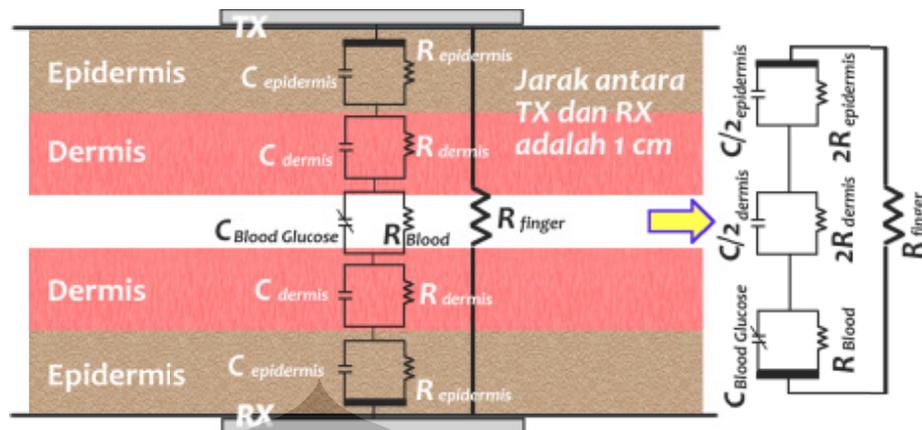
Dengan mengubah rangkaian menjadi 2 model dasar, maka perhitungan dan analisa dilakukan satu persatu. Karakteristik dari model Maxwell-Wagner diubah menjadi rangkaian RC paralel. Hanya saja pada perhitungan selanjutnya daripada hasil model Maxwell-Wagner yang menjadi model 2R-1C digunakan metode admittansi pada bagian model Maxwell-Wagner.



Gambar 3.9 Sistem *Network* Admittansi & Impedansi Model 1

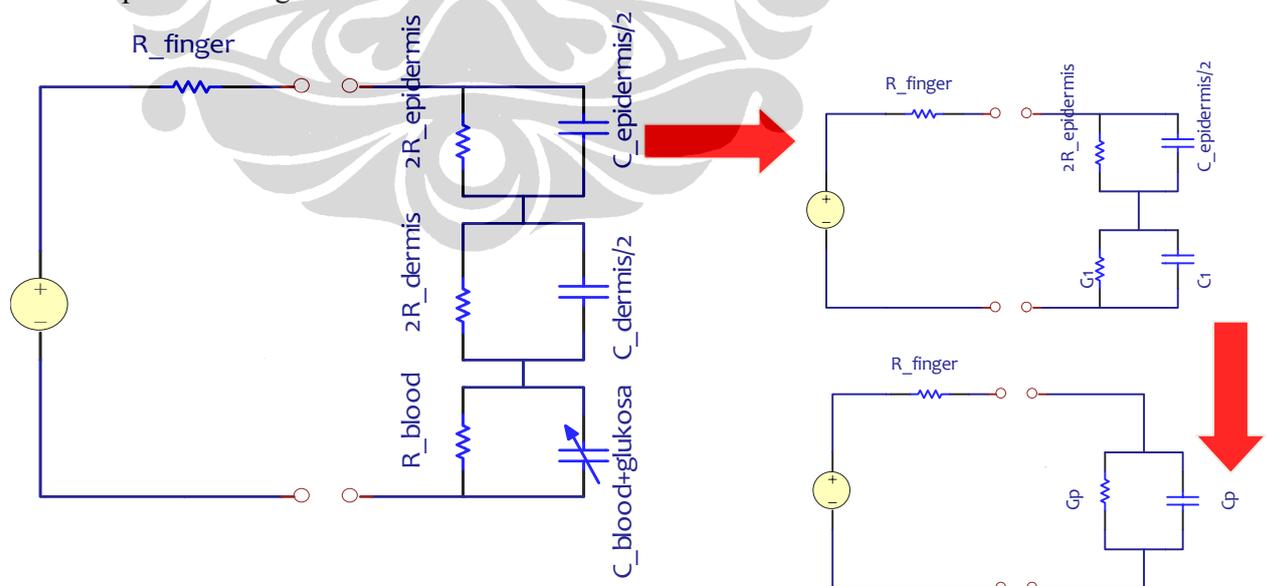
3.2 MODEL 2

Model ini beranggapan bahwa jika kadar glukosa darah meningkat maka besar kadar *capacitance* pada bagian darah akan berubah. Sehingga, perubahan nilai *capacitance* yang dipengaruhi kadar glukosa terdapat pada bagian darah. Pada pemodelan yang kedua ini bagian ini lebih difokuskan pada perubahan yang terjadi pada darah. Analogi pemodelan rangkaian tampak pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Rangkaian Ekuivalen Model 2

Gambar 3.11 adalah gambar yang disederhanakan ke dalam *thevenin* model dan pemodelan menjadi lebih kompleks karena melewati 3 bagian lapisan yang terdiri dari epidermis, dermis dan darah. Dengan adanya 3 lapisan jaringan yang akan dianalisa menyebabkan perhitungan yang lebih kompleks. Untuk mempermudah analisa, tahap pertama akan dianalisa dari 2 lapisan model Maxwell-Wagner terlebih dahulu. Lapisan tersebut adalah lapisan darah dan dermis. Untuk tahap kedua dilakukan kembali model Maxwell-Wagner dengan menggunakan lapisan epidermis. Tahap terakhir digunakan metode 2R-1C.



Gambar 3.11 Alur Penyederhanaan Rangkaian pada Model 2