
#3 Model Temperatur Efektif untuk Medan Listrik

Elektronika Organik

Eka Maulana, ST., MT., MEng.

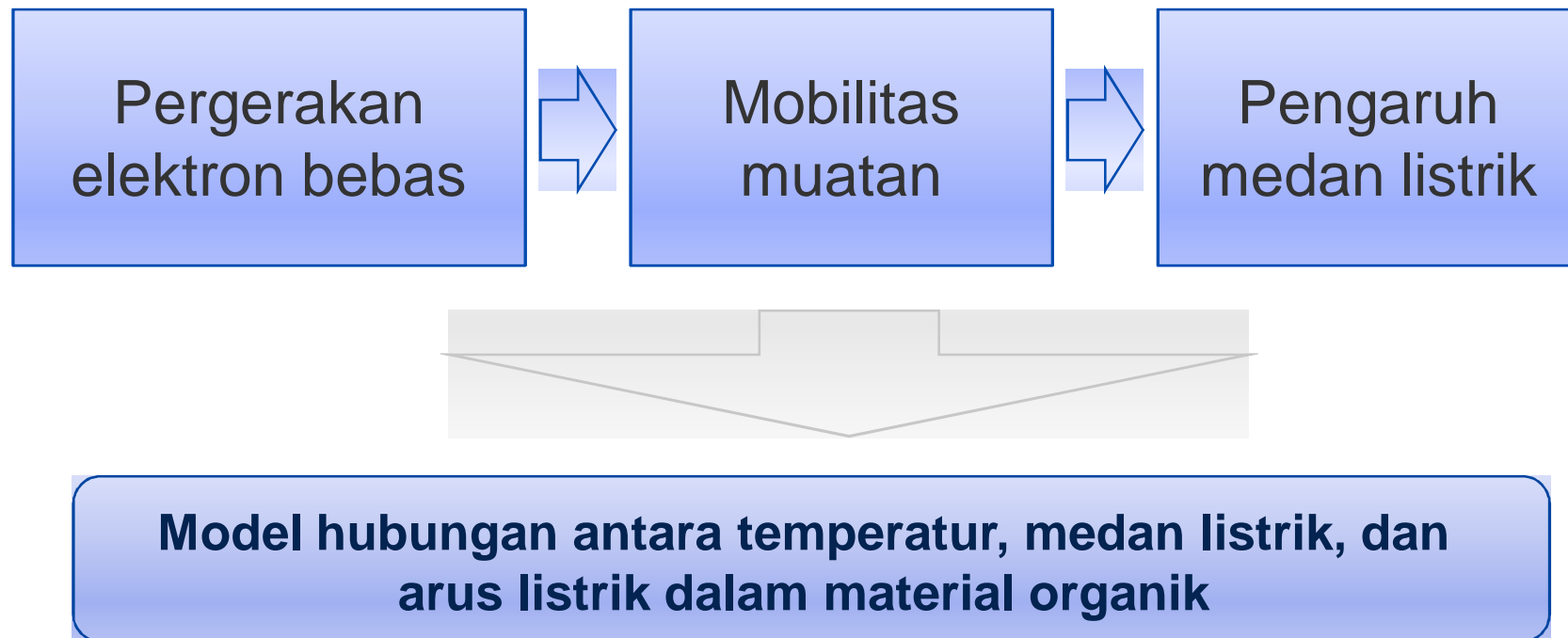
**Teknik Elektro
Universitas Brawijaya**

Senin, 4 Maret 2013

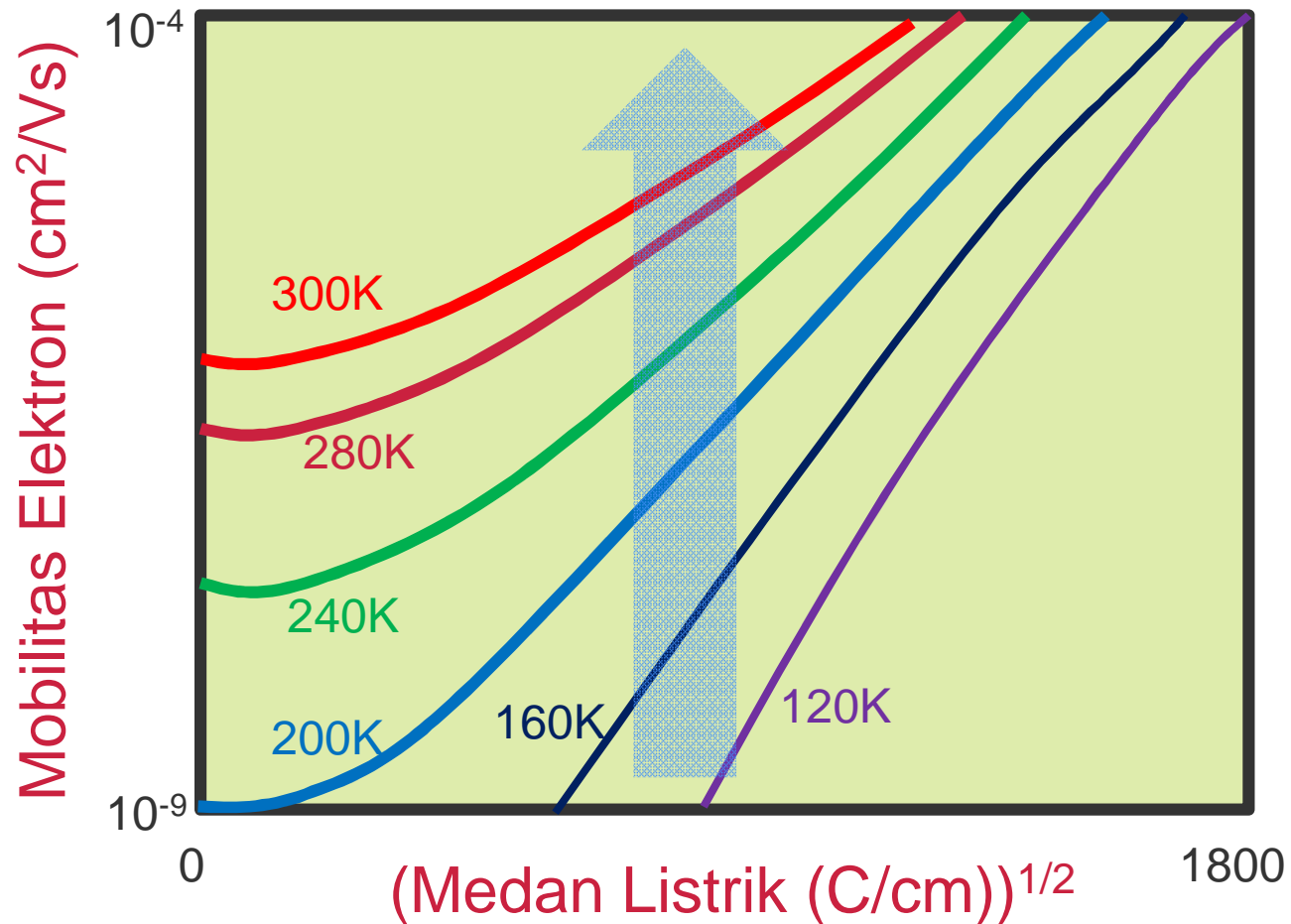
Kerangka materi

- **Tujuan:**

Memberikan pemahaman tentang model temperatur efektif untuk medan listrik dalam bahan organik.



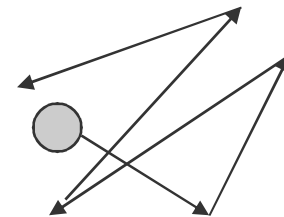
Hubungan Temperatur, Medan Listrik, & gerak elektron



Velositas Termal

- Carrier hampir selalu bergerak bebas ketika tidak bergabung dengan *lattice site* tertentu (gaya kristal dalam massa efektif)
- Dari fisika termal klasik(Hukum Dulong-Petit)

$$KE = \left(\frac{1}{2} \cdot m^* \cdot v_{th}^2 \right) = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$



atau $v_{th} = \left(\frac{3kT}{m^*} \right)^{\frac{1}{2}} \approx 10^7 \text{ cm/s}$ pada Si

dimana v_{th} adalah kecepatan termal, yang merupakan kecepatan rata-rata carrier karena eksitasi termal

Laju Carrier

Secara dasar, laju carrier diklasifikasikan dalam 2 jenis:

- Drift - pergerakan dibawah penerapan medan elektromagnet
- Difusi - Pergerakan karena perbedaan konsentrasi

Kebanyakan mekanisme transport dikembangkan dengan metode ini, diformulasikan secara klasik bukan secara mekanika kuantum

Drift & Difusi banyak dikombinasikan dalam berbagai metode dan aplikasi. Dalam tingkat lanjut (submicron MOSFET dan devais quantum well).

Net Motion

- Jika suatu medan listrik, ξ_x diterapkan dalam arah x , tiap elektron mengalami *net force sebesar* $-q \xi_x$ dari medan tersebut.
- Gaya ini mungkin tidak cukup untuk mengubah jalur pergerakan acak elektron tunggal. Fenomena ini disebut ***net motion*** group dalam arah x .
- Gaya tunggal pada sejumlah n elektron/cm³ adalah:

$$-n \cdot q \cdot \xi_x = \frac{dp_x}{dt} \quad (p_x = \text{momentum grup})$$

Apakah terjadi percepatan kontinyu dalam arah x ?

Net Motion

- Tidak kontinyu, karena terjadi tumbukan
- *Net acceleration* diseimbangkan dalam steady-state oleh perlambatan proses tumbukan
- Terdapat *net momentum* p_{-x} , dimana **net rate** perubahan momentum ketika tumbukan harus **nol** dalam kondisi aliran steady current.
- **Tumbukan**, dimana sekelompok elektron N_0 saat $t=0$
 - $N(t)$ jumlah elektron yang tidak mengalami tumbukan pada waktu t
 - Laju penurunan dalam $N(t)$ setiap saat t adalah proporsional sebanding dengan jumlah tak terhambur pada waktu t

$$\frac{-dN(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_m} \cdot N(t)$$

τ_m : Konstanta proporsionalitas

Net Motion

- Solusi dalam persamaan tersebut adalah fungsi eksponensial (secara tipikal didominasi oleh proses acak)

$$N(t) = N_0 \cdot e^{\frac{-t}{\tau_m}}$$

- Sehingga laju pertukaran p_x karena efek perlambatan akibat tumbukan adalah

$$\frac{dp_x}{dt} = \frac{-p_x}{\tau_m}$$

Mobilitas

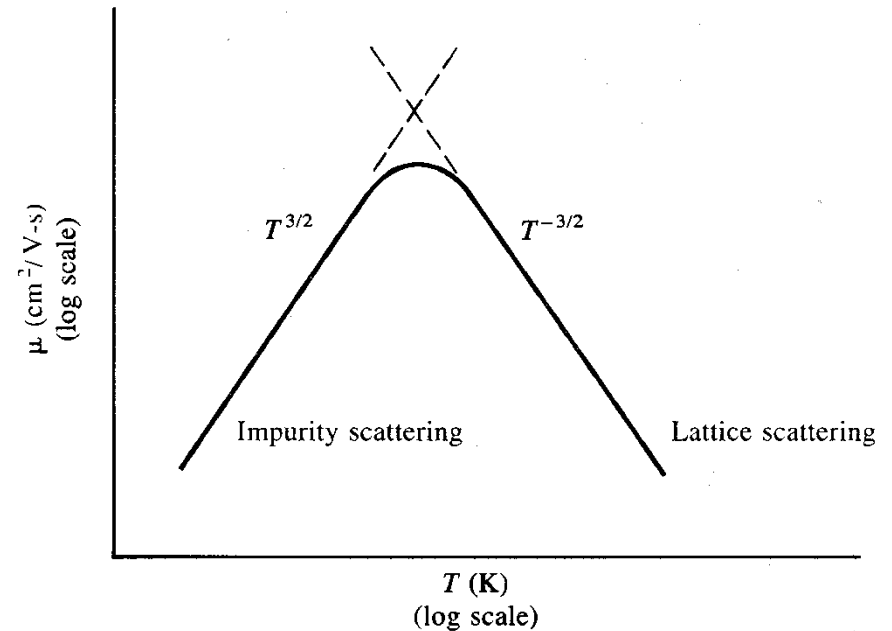
τ_m adalah *free time*, yaitu selang waktu antar tumbukan

- Mobilitas menjelaskan bagaimana elektron bergerak pada suatu tanggapan tertentu karena diterapkannya medan.
- Terdapat dua jenis mekanisme hamburan yang menghambat mobilitas

Mobilitas dan hamburan

- *Lattice* dan hamburan impuriti
- *Lattice*: vibrasi yang dikarenakan temperatur
- Hamburan impuriti terionisasi: carrier bergerak lambat dengan momentum secara mudah dipengaruhi oleh ion bermuatan
- **Mobilitas efektif**

$$\frac{1}{\mu} = \sum_i \frac{1}{\mu_i} \sim \frac{1}{\mu_i} + \frac{1}{\mu_l}$$



Net Motion

- Sum of acceleration and deceleration effects must be zero for steady state so:

$$\frac{-p_x}{\tau_m} - nq\xi_x = 0$$

- The average momentum per electron is

$$\langle p_x \rangle = \frac{p_x}{n} = -q \cdot \tau_m \cdot \xi_x$$

- Electrons on the average have a constant net velocity in the $-x$ direction

$$\langle v_x \rangle = \frac{\langle p_x \rangle}{m_n^*} = \frac{-q \cdot \tau_m \cdot \xi_x}{m_n^*}$$

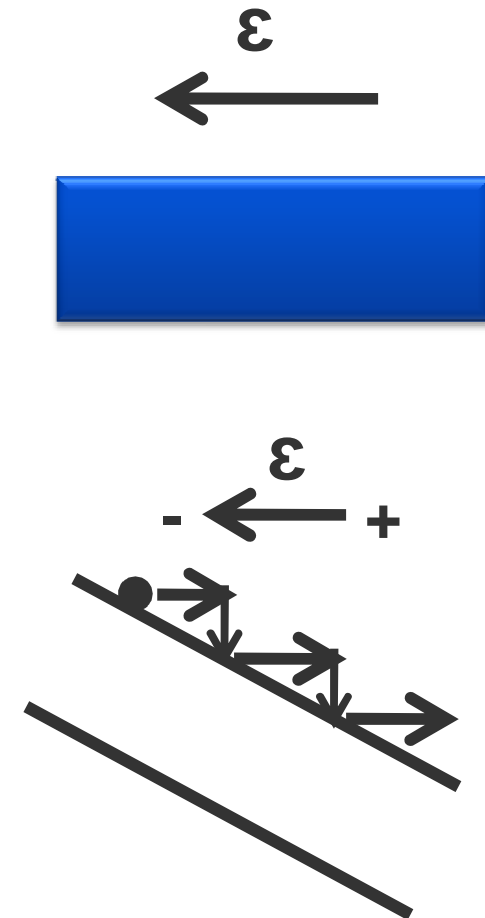
m_n^* **massa efektif konduktivitas elektron**

Carrier Transport - Drift

Drift

- Small electric field is applied to the lattice
- When electrons collide with the lattice there is a loss of energy associated
- Net carrier velocity in an applied field is the drift velocity v_d
- Electrostatic Force, $F = -q \cdot \xi$

$$V_d = \langle v_x \rangle = \frac{-q \xi \cdot \tau_m}{m_n^*} \quad \mu_n = \frac{-\langle v_x \rangle}{\xi_x} = \frac{q \cdot \tau_m}{m_n^*}$$



Drift

- Current density flowing in the direction of the applied field can be found by summing the product of the charge on each electron times its velocity over all electrons per unit volume

$$J_n = q \cdot \sum_{i=1}^n v_i = -n \cdot q \cdot v_d = n \cdot q \cdot \mu_n \cdot \xi$$

- Analogous argument applies with holes therefore the sum of electron and hole current

$$J = J_n + J_p = (n \cdot q \cdot \mu_n + p \cdot q \cdot \mu_p) \cdot \xi$$

- Term in parenthesis is the **conductivity** $\sigma = n q \mu_n + p q \mu_p$

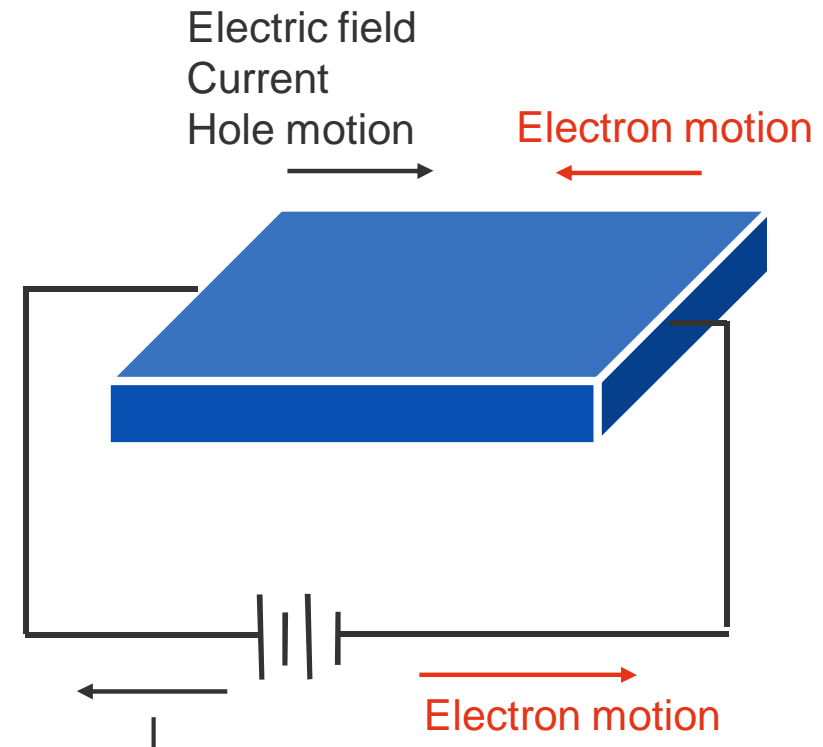
Drift and Resistance

- If the semiconductor bar in the figure contains both types of carrier then the conductivity is given by the previous equation

- The resistance of the bar is then

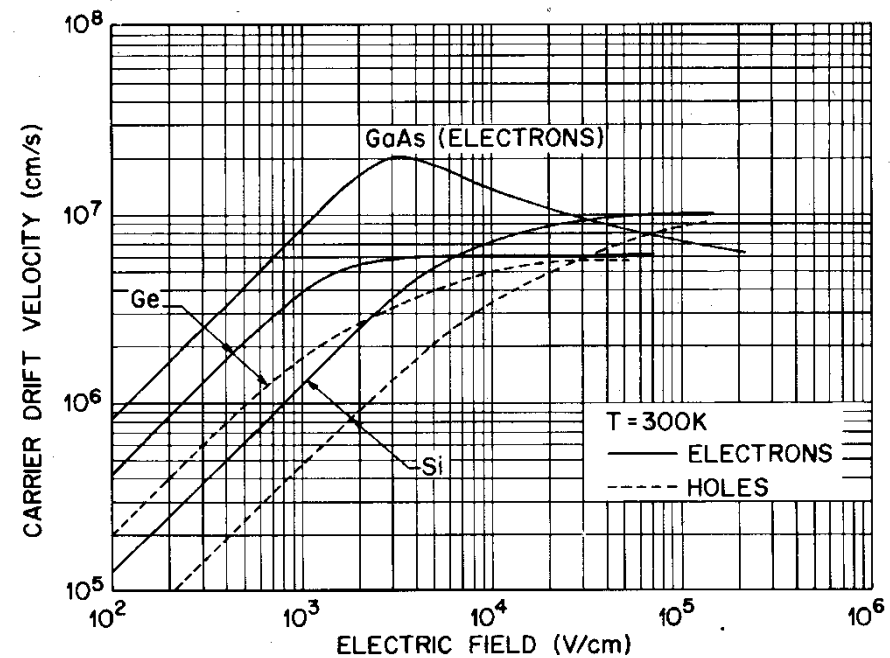
$$R = \frac{\rho L}{wt} = \frac{L}{wt} \cdot \frac{1}{\sigma}$$

- Where ρ is the resistivity



High Field Transport

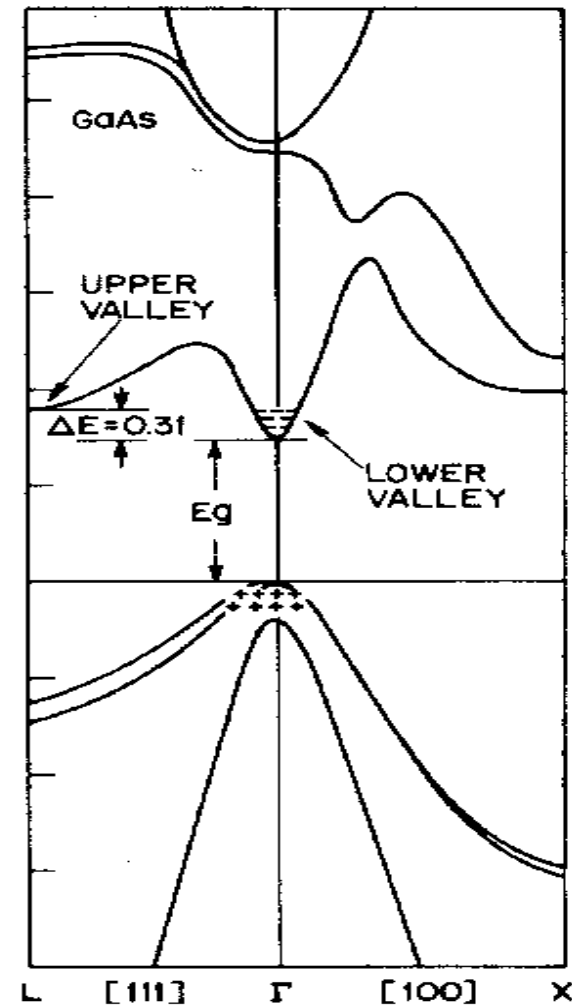
- At low electric field,
$$\langle v_d \rangle \propto \xi$$
- The proportionality constant μ that is independent of the electric field f (ξ)
- At sufficiently high fields,
 - $\langle v_d \rangle$ is no longer prop. to ξ (nonlinearities in mobility)
 - $\langle v_d \rangle \rightarrow v_{\text{sat}}$
- Larger fields, impact ionization occurs



High Field Transport

Velocity overshoot

- Electrons at the high mobility valley at Γ ($k = 0$) have small m^* .
- Electrons are accelerated to gain E and k , reaching beyond the L and X valleys and getting scattered into them.
- Average drift velocity reaches a maximum, then decreases and saturates to a low value when the L and X minima are populated.



Hot Carrier Effect

At high electric fields, carriers get more energetic --- “hot”

$$T_{\text{effective}} > T_{\text{lattice}}$$

The average energy of the carriers increase as the field increases, acquiring the above effective temperature T_e

- Under steady state condition with an applied field,
- For Si and Ge, (moderately high fields)

$$\frac{T_e}{T} = \frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{3\pi}{8} \cdot \left(\frac{\mu_0 \cdot \xi}{c_s} \right)^2} \right] \quad v_d = \mu_0 \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{T}{T_e}}$$

- V_d starts to deviate from being linearly dependent on the applied field by a factor of $\sqrt{(T/T_e)}$

μ_0 is the low field mobility
 c_s the velocity of sound