

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

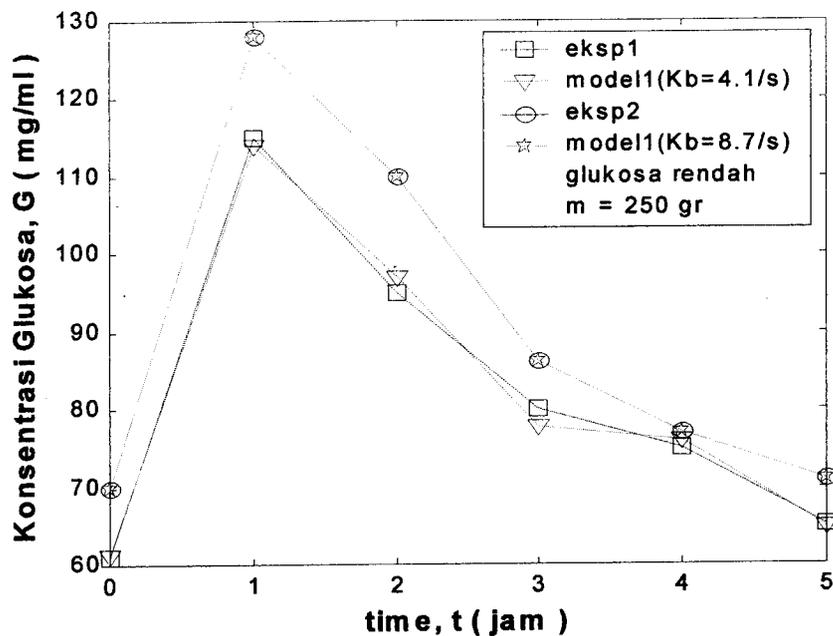
#### 4.1. Hasil Eksperimen dan Pemodelan

Hasil simulasi pemodelan untuk mengkaji pengaruh parameter konstanta transpot pada pencapaian konsentrasi glukosa normal plasma darah yang telah didisain dari model replika proses regulasi glukosa-insulin riil tubuh berupa disain rangkaian analog dengan menggunakan prinsip feedback negatif. Pada prinsipnya, adanya asas feedback negatif dalam sistem regulasi gula darah berperanan yaitu ketika terjadi suplai gula oleh tubuh maka konsentrasi glukosa dalam plasma darah akan naik, dan oleh karena itu fungsi feedback negatif ini adalah untuk mengembalikan konsentrasi gula darah dengan cepat sekali ketingkat pengaturan keadaan normal. Pembahasan berikutnya lebih menekankan pada kajian pengaruh parameter konstanta laju transpot organ pankreas ( $K_{\beta}$ ) melalui pemodelan replika proses regulasi glukosa-insulin terhadap pencapaian konsentrasi glukosa plasma darah normal. Ini dikaji melalui distribusi pola konsentrasi glukosa-insulin hasil eksperimen yang sesuai pada kondisi riil tubuh. Masing-masing tipe model fisiologi pasien yaitu : gejala kondisi glukosa rendah, normal dan tinggi yang dikaji untuk interval waktu dan konsentrasi gula darah dari keadaan awal dimana tubuh dalam keadaan homoestatis dan juga pada saat terjadi peristiwa penyerapan dimana pada saat terjadi kenaikan konsentrasi gula darah hingga mencapai nilai maksimum serta akhirnya pada pasca penyerapan dimana akan terjadi penurunan konsentrasi gula darah sampai mencapai kondisi homoestatis atau keadaan kesetimbangan kembali. Hasil eksperimen data klinik kemudian dibaningkan dengan data hasil pemodelan sebagai tujuan validasi model.

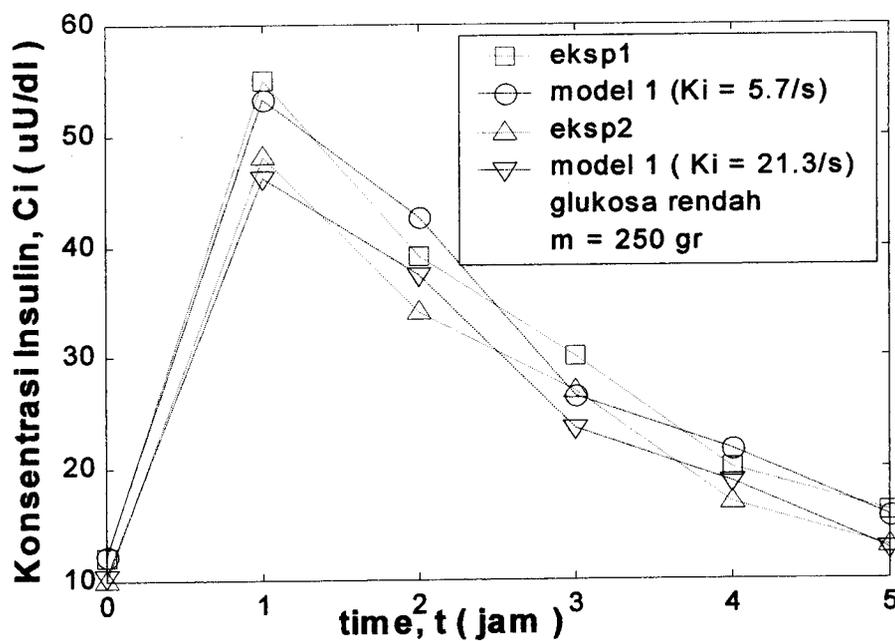
##### 4.1.1. Kondisi Glukosa Rendah

Secara fisiologi ketika tubuh menyuplai makanan maka dalam tubuh terjadi periode penyerapan glukosa, sejumlah glukosa masuk ke plasma darah dan hati. Sel-sel hati melakukan metabolisme glukosa membentuk glikogen untuk disimpan. Akibatnya konsentrasi glukosa meningkat sampai mencapai harga maksimum pada periode 1 jam seperti terlihat pada grafik-grafik ketiga tipe pasien baik hasil eksperimen maupun hasil model. Pada keadaan pasca penyerapan secara simultan respon dari berbagai organ-organ internal dan sistem syaraf sesuai dengan fungsi mereka masing-masing turut menjaga kesetimbangan gula darah untuk tetap

dalam keadaan statis yang berarti keadaan statis level konsentrasi glukosa rendah, normal dan tinggi.

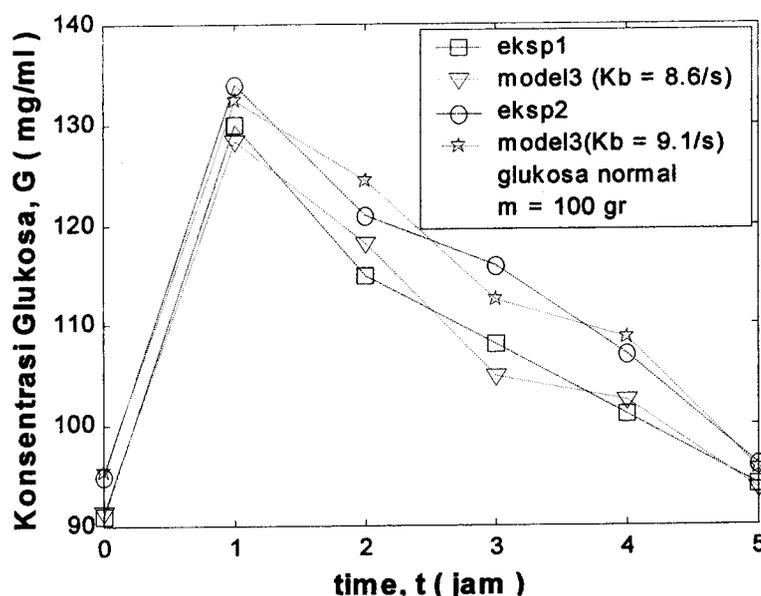


Gambar 6. Pola konsentrasi glukosa hasil eksperimen dan model pasien 1 problem glukosa rendah pada 2 kali perlakuan oral gula



Gambar 7. Pola konsentrasi insulin hasil eksperimen dan model pasien 1 problem glukosa rendah pada 2 kali perlakuan oral gula

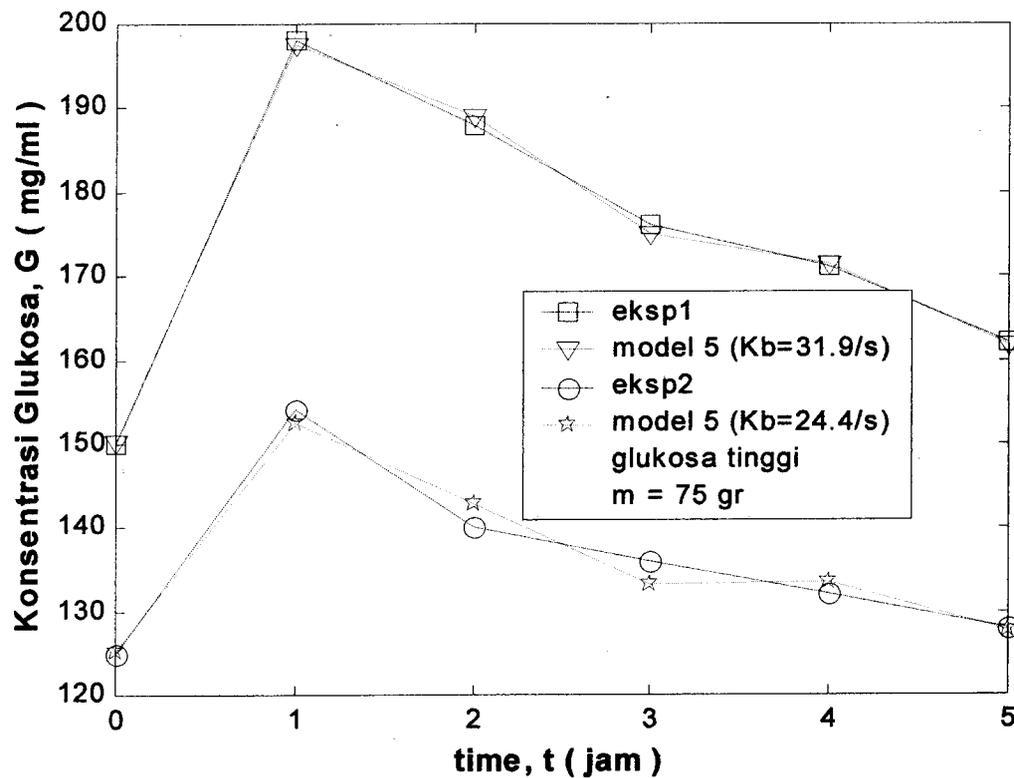
Pada grafik Gambar 6., pengaruh harga parameter model berupa konstanta laju transpot organ pankreas ( $K_{\beta}$ ) dapat dilihat ketika pengukuran konsentrasi glukosa mewakili pasien 1 dengan kondisi glukosa rendah diperoleh dalam pemodelan,  $K_{\beta} = 4.1 \text{ s}^{-1}$  dan harga konstanta ini membuat level konsentrasi statis akhir pasien berada pada konsentrasi 65 mg/ml. Kemudian setelah 2 bulan berikutnya setelah perlakuan terapi oleh medis diperlakukan pengambilan konsentrasi glukosa pasien pada eksperimen 2 dan didapatkan dari model harga  $K_{\beta} = 8.7 \text{ s}^{-1}$  naik yang menghasilkan level statis akhir konsentrasi glukosa menjadi 71 mg/ml. Konsekwensi ini menunjukkan bahwa level konsentrasi pasien berada pada level normal minimum dimana range level konsentrasi glukosa normal,  $70 \text{ mg/ml} \leq G \leq 110 \text{ mg/ml}$ . Pencapaian konsentrasi glukosa kelvel normal tidak lepas dari respon kontrol otomatis organ pankreas dalam memproduksi hormon glikogen untuk membantu dalam sintesa glukosa di organ hati. Kecendrungan meningkatnya konsentrasi insulin dalam plasma darah pasca oral 250 gram gula dapat dilihat pada grafik Gambar 7. Kemudian setelah periode waktu 5 jam pasca penyerapan sari makanan konsentrasi hormon insulin cenderung menurun mencapai level konsentrasi statisnya pada  $16 \mu\text{U/ml}$ , level ini berada pada level konsentrasi insulin normal dengan range,  $5 \mu\text{U/ml} \leq I \leq 25 \mu\text{U/ml}$ .



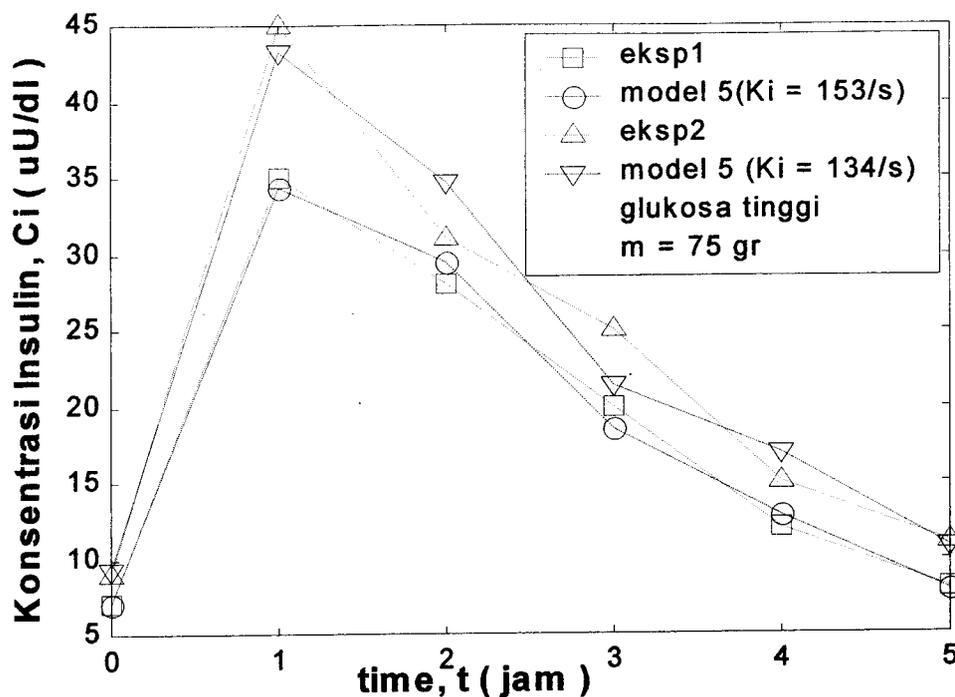
Gambar 8. Pola konsentrasi glukosa hasil eksperimen dan model pasien 3 dengan kondisi glukosa normal pada 2 kali perlakuan oral gula

#### 4.1.2. Kondisi Glukosa Tinggi

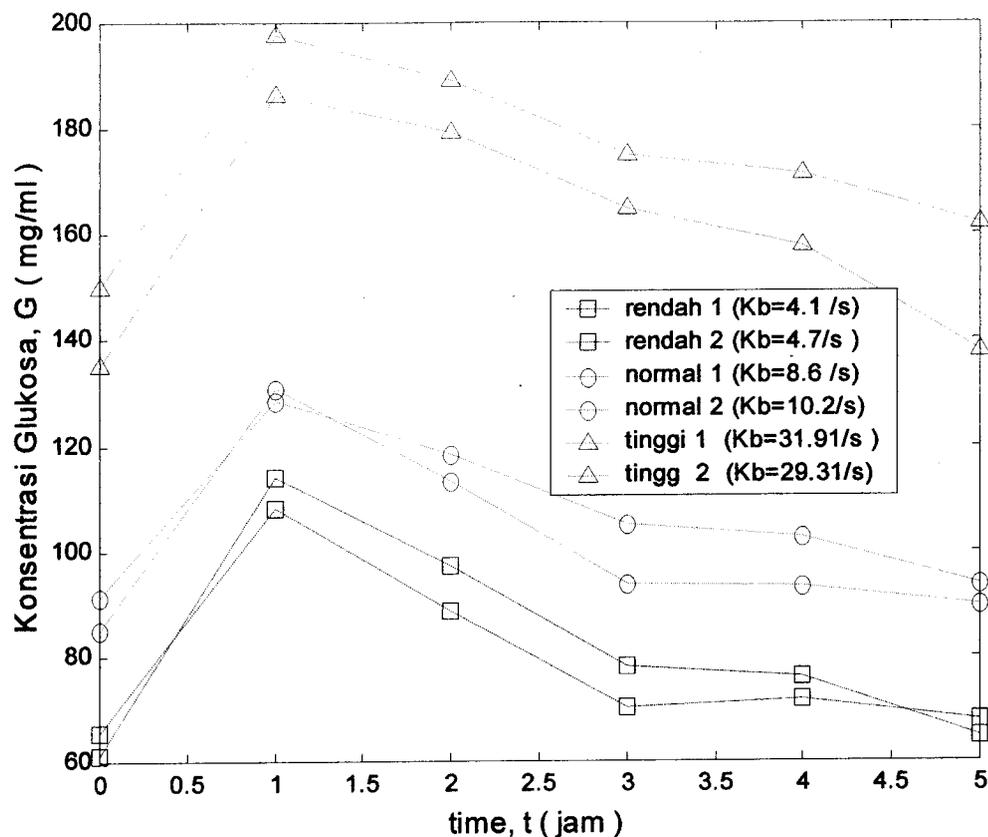
Pada hasil pemodelan untuk keadaan model pasien 5 yang mengalami problem glukosa tinggi dengan 2 kali pengambila konsentrasi diperoleh level statis akhir konsentrasi glukosa pada level masing-masing 162 mg/ml dan 128 mg/ml. Pencapaian level-level konsentrasi glukosa statis ini



Gambar 9. Pola konsentrasi glukosa hasil eksperimen dan model pasien 5 dengan kondisi glukosa tinggi pada 2 kali perlakuan oral gula



Gambar 10. Pola konsentrasi insulin hasil eksperimen dan model pasien 5 dengan kondisi glukosa tinggi pada 2 kali perlakuan oral gula menunjukkan bahwa level-level ini masih berada diatas level konsentrasi glukosa normal maksimum yaitu 110 mg/ml. Secara medis menunjukkan bahwa pasien model 5 masih harus diterapi medis untuk menurunkan konsentrasi sehingga berada pada level statis akhir untuk kondisi konsentrasi glukosa normal. Dari hasil pemodelan untuk kondisi level konsentrasi glukosa akhir statis tinggi ini menunjukkan perolehan harga parameter kontanta laju transpot untuk model pasien 5 glukosa tinggi masing-masing  $31.9 \text{ s}^{-1}$  dan  $24.4 \text{ s}^{-1}$ . hasil ini dapat dilihat pada Gambar 9. Pola konsentrasi insulin untuk model pasien 5 problem glukosa tinggi dapat dilihat pada Garfik 10. Dari hasil grafik menunjukkan bahwa level konsentrasi insulin akhir statis sangat rendah didalam plasma darah sehingga dengan konsentrasi yang minimum ini tidak cukup untuk menurunkan konsentrasi glukosa dalam plasma darah hingga mencapai batas normal.



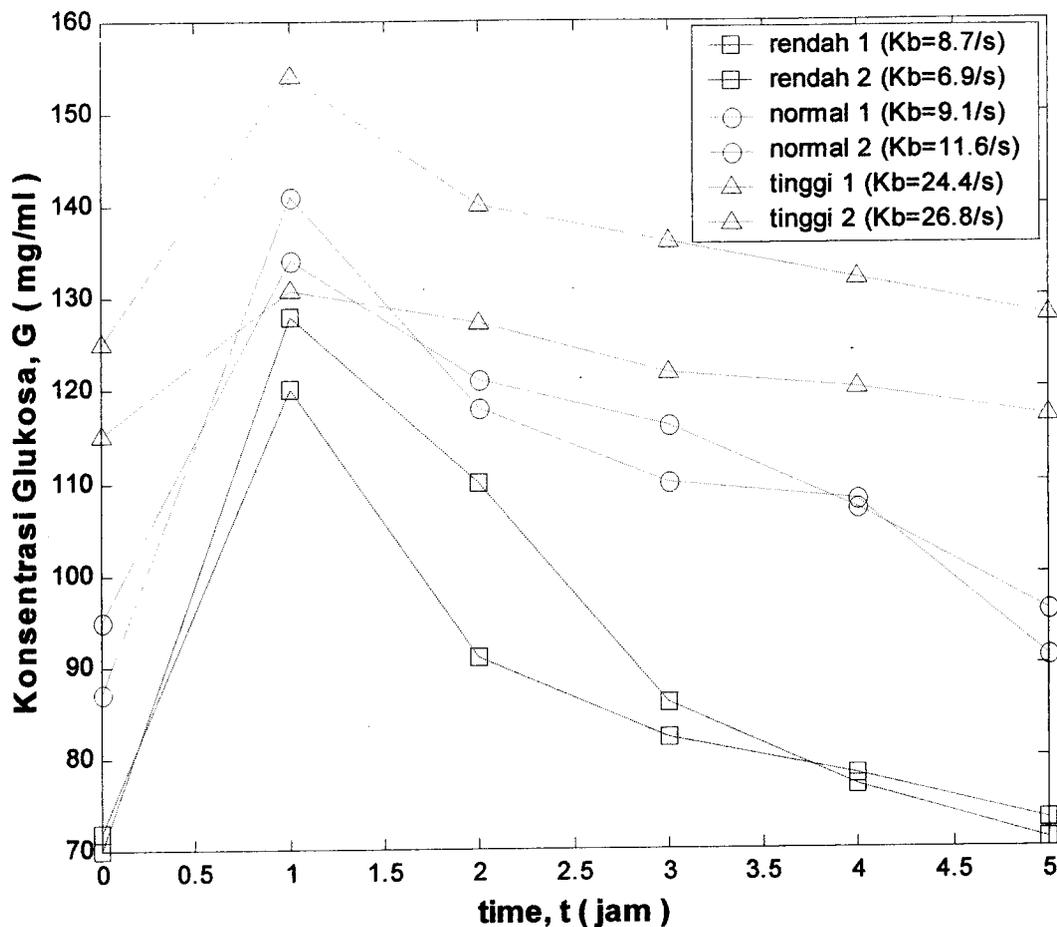
Gambar 11. Pola konsentrasi glukosa hasil model untuk 6 model pasien pada pertama kali perlakuan oral gula

#### 4.1.3. Pengaruh Konstanta Laju Transport Organ Pankreas

Pada keadaan glukosa rendah, normal dan tinggi, ketiga fenomena ini terjadi pada saat pasca penyerapan dimana kondisi tubuh secara alami akan mengatur gula darah untuk menuju atau kembali ke keadaan kesetimbangan atau statis. Pada proses menuju kesetimbangan, harga konsentrasi glukosa

setelah 1 jam pasca penyerapan sari makanan turun secara tajam untuk ketiga kondisi gula darah rendah, normal dan tinggi, dan setelah itu kemudian cenderung turun dengan perubahan kecil menuju level kesetimbangan kembali. Kecenderungan pola konsentrasi glukosa maupun insulin dapat dilihat

grafik pada Gambar 12 dan 13.



Gambar 12. Pola konsentrasi glukosa hasil model untuk 6 model pasien pada kedua kali perlakuan oral gula

Pada grafik Gambar 12, ke enam model pasien untuk keadaan dengan problem glukosa rendah, normal dan tinggi ; level konsentrasi glukosa statis akhir pada pengambilan konsentrasi glukosa pertama untuk ke enam pasien terlihat variasi harga konstanta laju transpot mempengaruhi level konsentrasi akhir statis yang juga adanya perubahan yang signifikan. Kemudian dalam selang waktu dua bulan kemudian dilakukan pengambilan kedua pengukuran konsentrasi glukosa untuk keenam pasien dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 12. Hasil grafik pada Gambar 12 menunjukkan perubahan level-level konsentrasi glukosa statis akhir yang signifikan bila dibandingkan dengan keadaan grafik pada Gambar 11. Perubahan menunjukkan bahwa ada variasi pada masing-masing level konsentrasi statis untuk kelima pasien. Hal ini ditunjukkan dengan adanya perubahan harga parameter konstanta laju transpot organ pankreas

masing-masing pasien sesuai dengan kondisi glukosa mereka masing-masing. Dan untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Harga konstanta laju tranpot organ pankreas dari keenam model pasien

Kondisi Pasien	m ( gr )	Konstanta laju tranpot organ pankreas , $K_p$ ( $s^{-1}$ )	
		Pengukuran ( 1 )	Pengukuran ( 2 )
Glukosa rendah 1	250	4.1	8.7
Glukosa rendah 2	250	4.7	6.9
Glukosa normal 1	100	8.6	9.1
Glukosa normal 2	100	10.2	11.6
Glukosa tinggi 1	75	31.9	24.4
Glukosa tinggi 2	75	29.3	26.8

Meningkatnya harga konstanta laju tranpot organ pankreas dapat diasumsikan bahwa faktor disipasi glukosa yang ditransformasi menjadi energi dalam mekanisme tersebut berkurang, sehingga kadar glukosa terakumulasi dalam plasma darah yang membuat level konsentrasi glukosa akan menjadi tinggi. Dan faktor ini cukup signifikan mempengaruhi kondisi pencapaian level normal yang meruapakan keadaan akhir yang konstan atau statis tanpa menyebabkan gejala-gejala fisiologi pada tubuh. Sebaliknya bila level akhir dicapai tidak pada kondisi normal maka tubuh tidak dapat mengadakan penyesuain pada keadaan tersebut dan tentu akan menyebabkan banyak gejala-gejala fisiologi tergantung apakah pada level dibawah normal atau diatas normal yang akan mngindikasikan adanya organ-organ respon glukosa dan insulin plasma darah bekerja tidak normal.