



### III MOTOR DC SERI

Motor DC seri adalah jenis motor DC yang saat ini paling banyak digunakan di masyarakat umum, baik dibidang industri maupun dibidang lain. Ini disebabkan oleh sifat-sifat istimewa dari motor ini.

Secara umum sifat-sifat itu adalah :

- a. Motor DC jenis ini memiliki kumparan jangkar yang terhubung seri dengan kumparan utama.
- b. Motor ini dapat diberi sumber tegangan searah atau sumber tegangan bolak-balik. Motor DC seri dengan disain khusus untuk menggunakan sumber tegangan bolak-balik disebut juga universal motor.
- c. Memiliki torsi start yang tinggi, sehingga sangat baik untuk beban-beban tetap ( misal: pompa air, mixer dan lain-lain ).
- d. Biasa bekerja pada putaran tinggi.

#### 1. TORSI PADA MOTOR <sup>4)</sup>

Jika suatu motor diberi beban sebesar  $F$ , maka pada poros motor itu akan berlaku hubungan .

$$T = F \cdot r$$

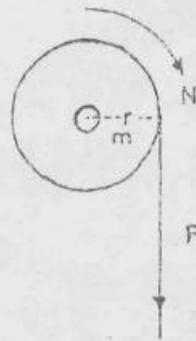
<sup>4)</sup> ibid hal 113

Dimana :

$T$  = Torsi pada motor (N.m)

$F$  = Beban motor (N)

$r$  = Jari-jari poros motor (m)



GAMBAR 3.1

TORSI YANG BEKERJA PADA POROS MOTOR.

Sedangkan:

$P = F \cdot s$  (Joule)

Dimana :

$P$  = Daya yang dikeluarkan motor. (Joule)

$s$  = Keliling poros. (m)

$= 2 \cdot \pi \cdot r$  (m)

maka :

$P = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r$  (Joule)

$= 2 \cdot \pi \cdot T$  (Joule)

Daya yang dikeluarkan oleh motor dalam satu detik adalah :

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot N}{60} \quad (\text{Joule/s})$$

Dan

$$T = \frac{60 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot N} \quad (\text{N.m})$$

Dimana :

$$N = \text{Putaran motor permenit. (Rpm)}$$

Sedangkan daya yang dihasilkan oleh jangkar motor adalah :

$$P = E_a \cdot I_a \quad (\text{joule/s})$$

Jika dianggap pada motor terdapat kondisi ideal, dimana daya yang dihasilkan motor dan daya yang dikeluarkan motor dianggap sama maka berlaku :

$$E_a \cdot I_a = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot N}{60} \quad (\text{Joule/s})$$

## 2. KARAKTERISTIK KARAKTERISTIK MOTOR DC SERI

### 2.1. Karakteristik Putaran -- Arus Beban ( N/I<sub>a</sub> )<sup>5)</sup>

Pada motor DC berlaku :

$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a}{k \cdot \Phi}$$

Sedangkan pada motor DC seri juga berlaku

$$k \cdot \Phi = K_a \cdot I_a$$

Dari dua persamaan diatas didapat :

$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_a}{K_a \cdot I_a}$$

$$n = \frac{V_{in}}{K_a \cdot I_a} - \frac{I_a \cdot R_a}{K_a \cdot I_a}$$

<sup>5)</sup> ibid hal 146

$$n = \frac{V_{in}}{K_a \cdot I_a} - \frac{R_a}{K_a}$$

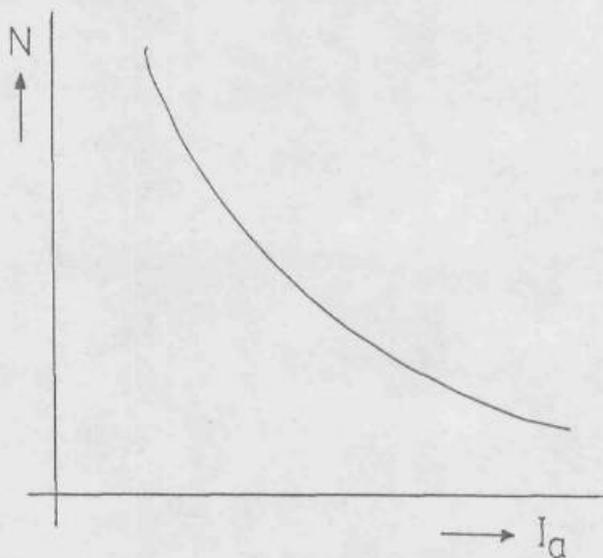
Sedangkan  $\frac{V_{in}}{K_a}$  konstan =  $C_{in}$

$\frac{R_a}{K_a}$  konstan =  $C_a$

Maka pada motor DC seri berlaku:

$$n = C_{in} \cdot (I_a)^{-1} - C_a$$

Persamaan ini dapat digambarkan seperti pada gambar 3.2.



GAMBAR 3.2

GRAFIK PUTARAN -- ARUS BEBAN (  $N/I_a$  ) MOTOR DC SERI.

## 2.2. Karakteristik Torsi -- Arus beban ( $T/I_a$ )

Pada motor DC seri berlaku:

$$E_a \cdot I_a = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot N}{60}$$

Sedangkan

$$E_a = \frac{P. N. \phi. Z}{60. A}$$

Dari kedua persamaan ini didapat :

$$2. \pi. N. 60. A = P. N. \phi. Z. I_a. 60$$

$$T = \frac{P. N. \phi. Z. I_a. 60}{2. \pi. N. 60. A}$$

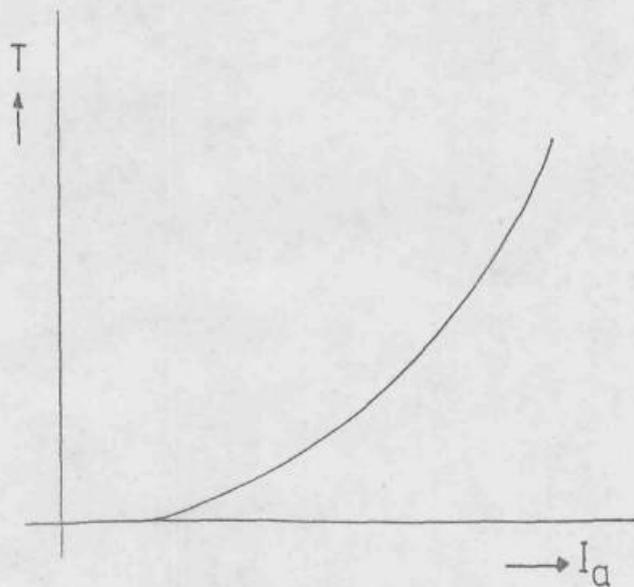
$$T = \frac{P. N. Z. \phi. I_a}{A}$$

$$T = k. \phi. I_a \quad \text{dimana} \quad k = \frac{P. N. Z}{A}$$

Pada motor DC seri flux yang dibangkitkan sebanding dengan arus beban dan arus medan ( $\phi \approx I_a$ ) sehingga :

$$\begin{aligned} T &= K. I_a. I_a \\ &= K. I_a^2 \end{aligned}$$

Persamaan diatas dapat digambarkan pada grafik seperti pada gambar 3.3.



GAMBAR 3.3

GRAFIK TORSI -- ARUS BEBAN (  $T/I_a$  ) MOTOR DC SERI.

### 2.3. Karakteristik Putaran -- Torsi ( N/T )

Diatas telah dibuktikan bahwa pada motor DC seri berlaku :

$$T = k \cdot I_a^2$$

Sedangkan

$$n = C_{in} \cdot (I_a)^{-1} - C_a$$

Jika dianggap

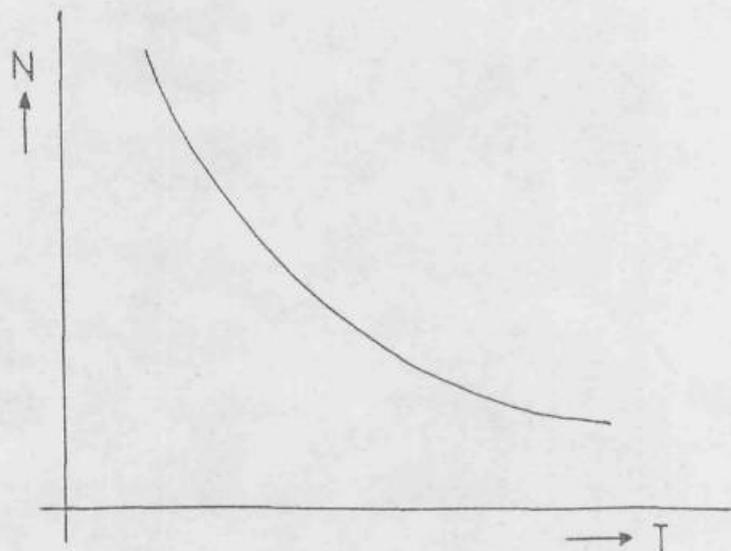
$$I_a = C_{in} \cdot (n)^{-1}$$

Maka

$$T = K \cdot (C_{in}/n)^2$$

$$T = \frac{K}{n^2}$$

Persamaan ini dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 3.4.



GAMBAR 3.4

GRAFIK PUTARAN -- TORSI ( N/T ) MOTOR DC SERI.

### 3. PENGATURAN PUTARAN MOTOR DC SERI

Pada bab terdahulu telah dibuktikan bahwa motor DC seri dapat diatur kecepatannya dengan cara :

1. Merubah tegangan masuk (  $V_{in}$  ).
2. Merubah arus beban (  $I_a$  ).

#### 3.1. Pengaturan Putaran Motor DC Seri Dengan Cara Merubah Tegangan Sumber

Dasar dari cara tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut pada bagian ini.

Dimana pada motor DC seri berlaku :

$$E_a = V_{in} - I_a \cdot (R_a + R_s)$$

Dengan menganggap harga  $R_a$  dan  $R_s$  konstan dan dilakukan perubahan pada harga  $V_{in}$  maka akan didapat persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$E_{a1} = V_{in1} - I_{a1} \cdot (R_a + R_s)$$

$$E_{a2} = V_{in2} - I_{a2} \cdot (R_a + R_s)$$

Dimana :

$E_{a1}$  : Harga emf kumparan jangkar motor pada tegangan sumber  $V_1$ .

$E_{a2}$  : Harga emf kumparan jangkar motor pada tegangan sumber  $V_2$ .

$I_{a1}$  : Harga arus beban pada tegangan sumber  $V_1$ .

$I_{a2}$  : Harga arus beban pada tegangan sumber  $V_2$ .

$$\text{Sedangkan: } n_1 \text{ (putaran)} = \frac{E_{a1}}{k \cdot \Phi_1}$$

$$n_2 \text{ (putaran)} = \frac{E_{a2}}{k \cdot \Phi_2}$$

Dari kedua persamaan diatas dapat disusun persamaan :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{E_{a1} \cdot \Phi_2}{E_{a2} \cdot \Phi_1} \quad (3.1.a)$$

Pada motor DC seri  $\Phi \approx I_a$ .

Maka :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{E_{a1} \cdot I_2}{E_{a2} \cdot I_1} \quad (3.1.b)$$

Jika harga  $(I_{a1} \cdot R_a)$  dianggap kecil dan dapat diabaikan maka pada motor DC seri ini berlaku :

$$E_{a1} = V_{1n1}$$

$$E_{a2} = V_{1n2}$$

Sehingga persamaan (3.1.b) menjadi<sup>6)</sup> :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1 \cdot I_{a2}}{V_2 \cdot I_{a1}} \quad (3.1.c)$$

Cara menggunakan persamaan (3.1.c) ini :

- a. Menentukan harga tegangan, arus dan putaran  $n$  pada beban nol, ini akan membuat kita mendapatkan harga-harga  $V_1$ ,  $I_{a1}$ ,  $n_1$ .
- b. Untuk mencari harga-harga parameter-parameter lain dapat dilakukan dengan cara :
  - Menentukan beban motor atau menentukan arus motor

yang diinginkan ( $I_{a2}$ ).

- Menentukan harga putaran yang dikehendaki ( $n_2$ ).
- Maka tegangan akan dapat ditentukan ( $V_2$ ).
- Dengan mengubah-ubah jenis parameter akan didapat hasil yang berbeda-beda. Contoh dengan menentukan harga  $I_{a2}$  dan  $n_2$ , dapat dihitung besar tegangan yang harus digunakan ( $V_2$ ) untuk membuat motor berputar pada putaran  $n_2$  dan arus beban  $I_{a2}$ .

### 3.2 Pengaturan Putaran Motor DC Seri Dengan Cara Menambah Tahanan Seri Pada Kumputan Jangkar<sup>6)</sup>

Pada keadaan normal pada motor DC berlaku :

$$n_o = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_f)}{k \cdot \phi}$$

Jika pada kumputan jangkar ditambahkan tahanan yang terhubung seri maka berlaku hubungan seperti terlihat pada gambar 3.5.

Dari gambar 3.5 dapat dibuat hubungan sebagai berikut :

$$n_n = \frac{V_{in} - I_a (R_a + R_f + R_x)}{k \cdot \phi}$$

Untuk selanjutnya:  $R_a + R_f = R_m$

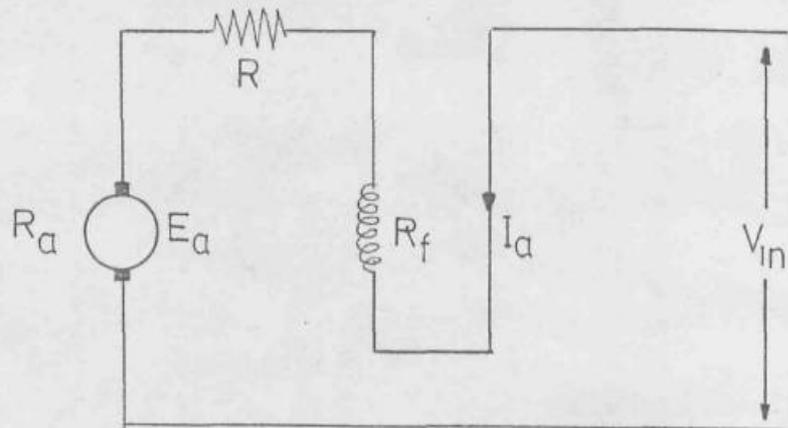
Pada arus jangkar yang sama maka kedua persamaan menjadi:

$$\frac{n_n}{n_o} = \frac{V_{in} - I_a (R_m + R_x)}{V_{in} - I_a (R_m)}$$

<sup>6)</sup>Chikilin, M. 1976. Electric Drive. Moscow: Mir Publisher. hal 57

$$n_n = n_o \frac{V_{in} - I_a ( R_m + R_x )}{V_{in} - I_a ( R_m )} \quad (3.2)$$

Dari persamaan diatas kita dapat mencari karakteristik putaran -- arus dari motor dengan tahanan tambahan.

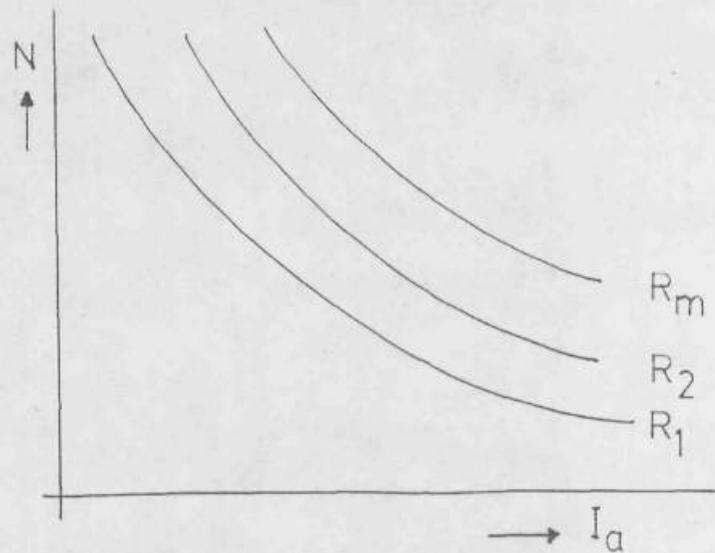


GAMBAR 3.5

RANGKAIAN LISTRIK PADA MOTOR DC SERI DENGAN TAMBAHAN TAHANAN SERI PADA KUMPARAN JANGKAR.

Cara mendapatkan karakteristik putaran -- arus beban dengan tahanan tambahan.

1. Harus dicari dahulu karakteristik putaran -- arus dalam keadaan normal (tanpa tahanan).
2. Dari karakteristik diatas diambil satu besaran arus tertentu, misal  $I_1$ , pada  $I_1$  ini dapat ditentukan besaran  $n_1$  ( diambil dari karakteristik diatas ).
3. Harga-harga ini dimasukkan pada persamaan diatas (persamaan 3.2 ), sehingga dengan mengubah-ubah harga  $R_x$  akan dapat ditentukan karakteristik  $N - I$  pada harga  $R_x$  itu.



GAMBAR 3.6

KARAKTERISTIK PUTARAN -- ARUS BEBAN PADA BERBAGAI HARGA TAHANAN TAMBAHAN.

### 3.3 Menggunakan Karakteristik Putaran -- Arus Beban ( N/I ) Untuk Menentukan Tahanan Start Motor DC Seri<sup>6)</sup>

Salah satu sifat baik dari motor DC seri adalah torsi start yang tinggi. ini terjadi karena adanya arus start yang sangat tinggi. Timbulnya arus start yang tinggi ini, secara matematis dapat diterangkan sebagai berikut:

Pada saat  $n = 0$

$$E_a = k \cdot n \cdot \phi = 0$$

$$E_a = V_{in} - I_a ( R_a + R_f )$$

$$0 = V_{in} - I_a ( R_a + R_f )$$

$$I_a = \frac{V_{in}}{R_a + R_f}$$

Arus  $I_a$  pada saat diam (  $n = 0$  ) hanya dibatasi oleh tahanan jangkar dan tahanan medan yang relatif kecil,

<sup>6)</sup> ibid. hal 53



dapat ditentukan harga-harga :

$$R_1 = \frac{V}{I_2} \quad , \quad I_2 = \text{Arus nominal.}$$

$$R_2 = \frac{V}{I_1} \quad , \quad I_1 = \text{Arus maksimum yang diinginkan.}$$

Lihat gambar 3. 7.

2. Dari natural karakteristik didapatkan 2 titik yaitu titik pada arus nominal dan arus maksimum. (titik  $A_n$  dan titik  $A_m$  pada gambar 3. 7 ).
3. Kedua titik itu diproyeksikan kegaris vertikal disebelah kiri sumbu vertikal, dan jarak sumbu vertikal, dan jarak sumbu vertikal dan garis ini =  $R_m$  ( tahanan motor  $R_m = R_a + R_s$  ) = OA  
Titik-titik hasil proyeksi f dan e.
4. Dengan skala sama digambarkan pada sumbu horisontal  $R_1$  dan  $R_2$ . ( Titik a dan g ).
5. Dari keempat titik itu ( 2 titik proyeksi, 2 titik  $R_1$  dan  $R_2$  ) didapat 2 garis. ( Garis ae dan garis gf ).
6. Kedua garis ini menunjukkan hubungan persamaan:

$$n = \frac{V - I R}{k. \phi} = A - B R$$

7. Untuk mendapatkan berapa bagian tahanan start dari motor tersebut dapat dilakukan dengan cara:  
Dari titik a ditarik garis vertikal sehingga menyentuh garis gf, dan dari titik ini ( pertemuan

garis vertikal dan garis  $gf$  ) ditarik garis horizontal sehingga menyentuh garis  $ae$ . Dari titik ini ditarik lagi garis vertikal dan langkah langkah diatas diulang sehingga dicapai titik  $f$ .

Dari sini didapat  $R_a = bc$

$R_b = de$

$R_c = fg$

Dengan perbandingan yang sama dengan harga-harga sebelumnya ( langkah ke 3 dan ke 4 ) didapat harga-harga tahanan start yang dibutuhkan.

Keterangan : Pada saat motor mulai start, arus jangkar =  $I_1$  dan tahanan dijangkar =  $R_1 = V_1/I_1 = R_a + R_b + R_c + R_m$ . Beberapa saat kemudian kecepatan motor akan turun mencapai  $W_1$  ( titik  $b$  ) dan arus motor juga akan turun mencapai  $I_2$ . Pada saat ini tahanan start yang pertama (  $R_a$  ) dihubung singkatkan sehingga tahanan total yang ada pada motor =  $R_b + R_c + R_m$  dan arus akan naik lagi mencapai  $I_1$ . Kemudian arus inipun akan turun lagi menuju  $I_2$  dan tahanan start yang kedua dapat dihubung singkatkan. Langkah ini berulang hingga semua tahanan startnya selesai dihubung singkatkan.

### 3.4 Pengaturan Putaran Motor DC Seri Dengan Menggunakan Tahanan Geser

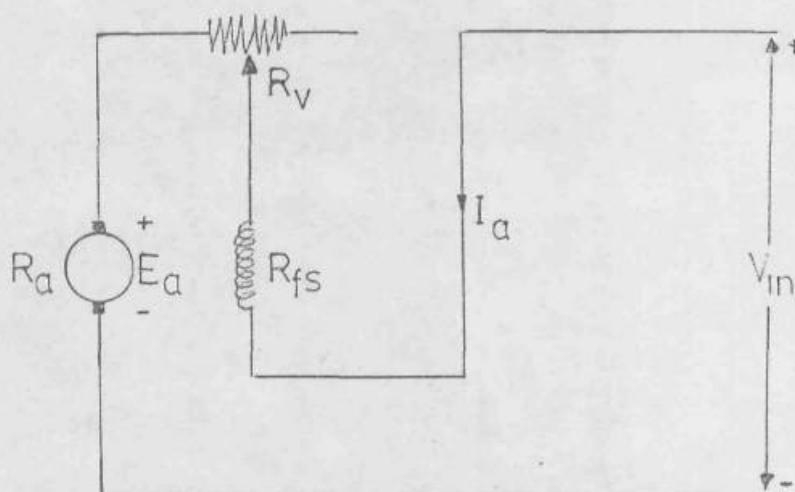
Sebenarnya tehnik pengaturan putaran ini hampir sama dengan bagian 3.2 dari bab ini, hanya pada bagian ini tahanan seri diganti dengan tahanan geser. Keuntungan

dari penggantian ini adalah akan didapat pengaturan putaran yang lebih baik yaitu perubahan putaran yang lebih smooth. Rangkaian dari teknik pengaturan ini dapat dilihat pada gambar 3.8.

Disini berlaku :

$$n = \frac{V_{in} - I_a \cdot (R_m + R_v)}{k \cdot \phi}$$

Dimana :  $R_v$  : Tahanan geser yang dipasang seri pada kumparan jangkar.



GAMBAR 3.8

RANGKAIAN LISTRIK MOTOR DC SERI DENGAN TAHANAN GESER YANG DIPASANG SERI PADA KUMPARAN JANGKAR.

Karena pada motor DC seri  $\phi \approx I_a$  maka

$$n = \frac{V_{in}}{k_a \cdot I_a} - \frac{R_m}{k_a} - \frac{R_v}{k_a}$$

Dimana harga  $\frac{V_{in}}{k_a \cdot I_a}$ ,  $\frac{R_m}{k_a}$ ,  $\frac{1}{k_a \cdot I_a}$  dianggap konstan

Sehingga persamaan diatas dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$n = A - B \cdot R_v$$

Persamaan ini merupakan persamaan linier dan harga putaran akan berubah jika harga  $R_v$  diubah.

Harga maksimum  $R_v$  dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

Pada putaran minimum ( $n = 0$ ), maka persamaan diatas menjadi :

$$0 = \frac{V_{in} - I_a \cdot (R_m + R_v)}{k \cdot \phi}$$

Sehingga

$$0 = V_{in} - I_a (R_m + R_v)$$

$$R_v = \frac{V_{in} - I_a \cdot R_m}{I_a}$$

$$R_v = \frac{V_{in}}{I_a} - R_m$$

sedangkan daya minimum  $R_v$  dapat dicari dengan cara

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = I_a^2 \cdot R_v \text{ max}$$