

BAB II

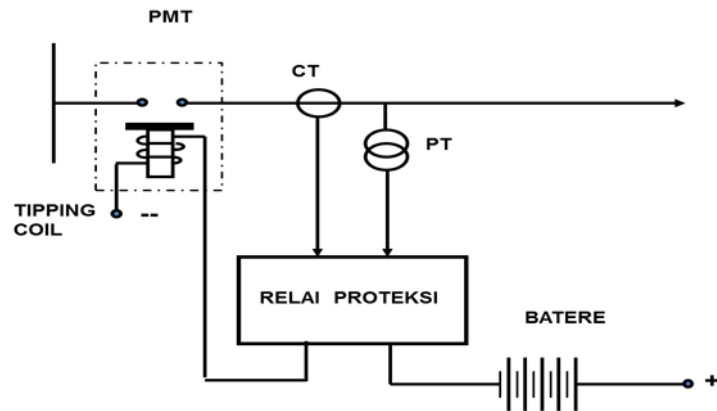
SISTEM PROTEKSI JARINGAN TENAGA LISTRIK

2.1 Sistem Proteksi

Seluruh sistem tenaga listrik pasti membutuhkan proteksi. Pilihan sistem proteksi tergantung dari beberapa aspek seperti tipe, dan rating dari peralatan yang diproteksi, kegunaan peralatan tersebut, lokasi, kondisi abnormal, biaya, dan sebagainya. Suatu sistem proteksi akan merasakan keadaan yang abnormal pada bagian dari sistem tenaga dan memberikan peringatan atau mengisolasi keadaan tersebut dari sistem yang sehat. Tujuan sistem proteksi adalah :

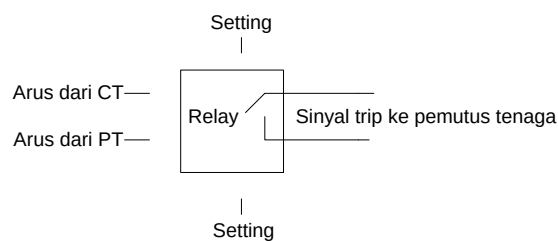
1. Mengurangi kerusakan peralatan yang terganggu, maupun peralatan yang dilewati oleh arus gangguan.
2. Mengisolir bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin dan secepat mungkin.
3. Mencegah meluasnya gangguan.

Pada Gambar 2.1 menunjukan sebuah sistem proteksi untuk proteksi rele jarak pada saluran transmisi, yang terdiri dari sebuah CT (*Current Transformer*) dan sebuah PT (*Potential Transformer*), sebuah rele dan pemutus tenaga (*circuit breaker*) dan catu daya/baterai. Setiap sistem proteksi akan mempunyai komponen – komponen dasar tersebut.



Gambar 2.1 Sistem Proteksi

Rele pada kotak hitam memiliki arus dan tegangan pada masukan dan sebuah keluaran dengan menutupnya kontak yang normal terbuka. Output rele ini disambungkan dengan sirkit trip yang diasosiasikan dengan pemutus tenaga untuk melengkapi rangkaian ini. Rele membawa informasi yang disediakan CT dan PT sesuai dengan logika pra penentu yang mendatangkan sebuah penentu dan membandingkan dengan *setting* untuk menentukan keputusan trip atau tidak trip. Diagram konsep rele secara umum digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram Konsep Sebuah Rele

Sifat – sifat rele adalah sebagai berikut :

1. *Sensitivity* (sensitif)

Sistem proteksi harus dapat mendeteksi arus gangguan yang terkecil. Semakin kecil arus gangguan yang dapat dideteksi maka semakin sensitif rele tersebut.

2. *Selektivity* (selektif) dan *discrimination* (diskriminasi)

Selektivity adalah kualitas keselektifan. Sebuah sistem proteksi harus selektif dalam memproteksi. Rele proteksi harus memilih bagian sistem yang terganggu dan harus mengisolasinya. *Discrimination* adalah aksi mendiskriminasikan. Sistem proteksi harus dapat membedakan kondisi normal dan kondisi abnormal.

3. *Reliability* (keandalan)

Rele proteksi tidak boleh gagal bekerja pada saat terjadi gangguan pada zona yang dilindunginya. Selain itu tidak boleh ada kesalahan pada sistem proteksi itu sendiri. Sistem proteksi tidak boleh bekerja pada saat tidak dibutuhkan

4. *Speed* (kecepatan)

Semakin lama gangguan terjadi pada sistem maka semakin besar kerusakan pada sistem dan semakin tinggi kemungkinan sistem akan kehilangan kestabilannya.

2.2 Klasifikasi Rele Proteksi

Rele proteksi di klasifikasikan berdasarkan :

1. Berdasarkan besaran input.
2. Berdasarkan karakteristik waktu kerja.
3. Berdasarkan jenis kontak.

2.2.1 Berdasarkan Besaran Input

Klasifikasi rele berdasarkan besaran inputnya :

1. Arus (I) : Rele arus lebih (*Over Current Relay*) dan rele arus kurang (*Under Current Relay*).
2. Tegangan (V) : Rele tegangan lebih (*Over Voltage Relay*) dan rele tegangan kurang (*Under Voltage Relay*).
3. Frekuensi (F) : Rele frekuensi lebih (*Over Frequency Relay*) dan rele frekuensi kurang (*Under Frequency Relay*).
4. Daya (P, Q) : Rele daya Max – min, rele arah/*directional relay*, rele daya balik.
5. Impedansi (Z) : Rele jarak (*Distance Relay*).
6. Perbedaan arus (ΔI) : *Differential Relay*.

2.2.2 Berdasarkan Karakteristik Waktu Kerja

Klasifikasi rele berdasarkan karakteristik waktu kerjanya :

1. Seketika (*Relay instant, moment, high speed*).
2. Penundaan waktu (*time delay*)
 - *Definite time*
 - *Inverse Time*
3. Kombinasi instant dengan tunda waktu.

2.2.3 Berdasarkan Jenis Kontak

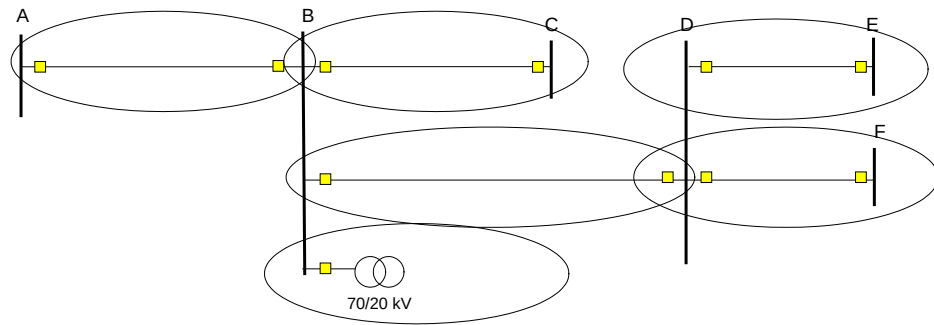
Klasifikasi rele berdasarkan jenis kontaknya :

1. Rele dengan kontak dalam keadaan normal terbuka (*normally open contact*).
2. Rele dengan kontak dalam keadaan normal tertutup (*normally close contact*).

2.3 Zonafikasi Sistem Proteksi

Setelah mengetahui jenis rele, maka kita juga harus mengetahui zonafikasi sistem proteksi. Zonafikasi sistem proteksi merupakan pembagian wilayah kerja dari sistem proteksi agar tidak terjadi tumpang tindih dalam bekerja antara satu rele dengan rele lainnya.

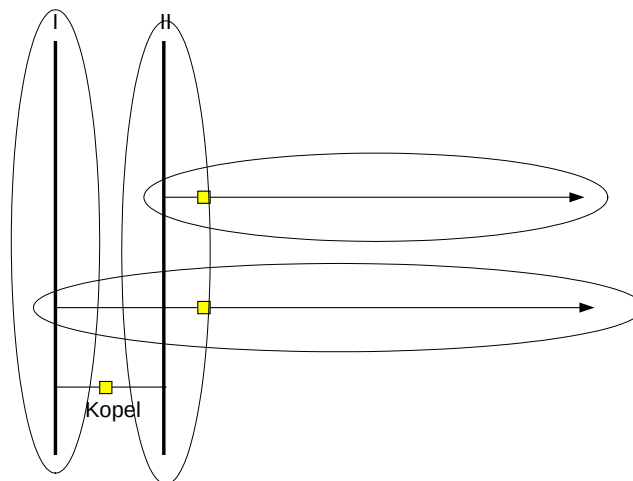
2.3.1 Zonafikasi Sistem Proteksi pada *Single Busbar*



Gambar 2.3 Zonafikasi Sistem Proteksi pada *Single Busbar*

Maksud dari gambar di atas adalah gambar lingkaran merupakan zona dari proteksi yang bekerja apabila ada gangguan pada wilayahnya masing-masing. Contoh apabila ada gangguan pada seksi A-B, yang boleh bekerja adalah rele pada seksi A-B dan berlaku juga pada seksi lainnya, intinya rele hanya boleh bekerja pada wilayah yang di proteksinya

2.3.2 Zonafikasi Sistem Proteksi pada *Double Busbar*

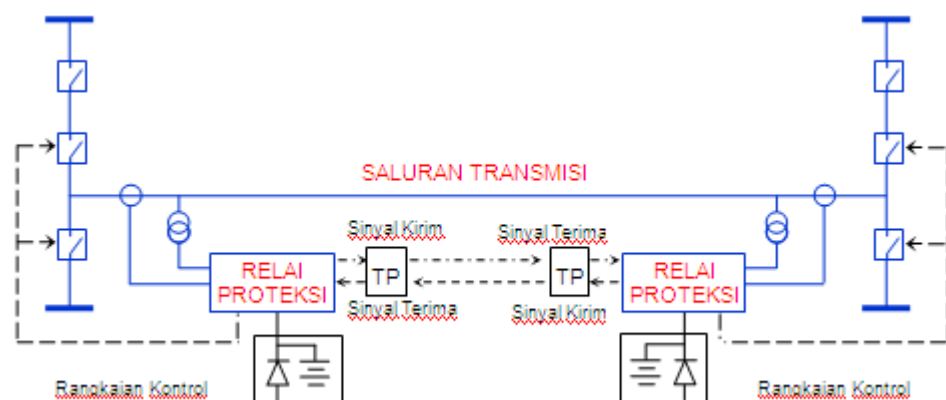


Gambar 2.4 Zonafikasi Sistem Proteksi pada *Double Busbar*

Maksud dari gambar di atas adalah lingkaran merupakan zona dari proteksi yang bekerja apabila ada gangguan terjadi di wilayahnya. Perbedaan dari single busbar adalah pada busbar terdapat proteksi sendiri, contohnya pada gambar di atas apabila ada gangguan pada busbar I, maka ada rele proteksi yang bernama rele *buspro* (*bus protection*) yang akan metriapkan seluruh penghantar yang ada pada bus 1 sedangkan pada penghantar sendiri, rele metriapkan pada wilayahnya saja.

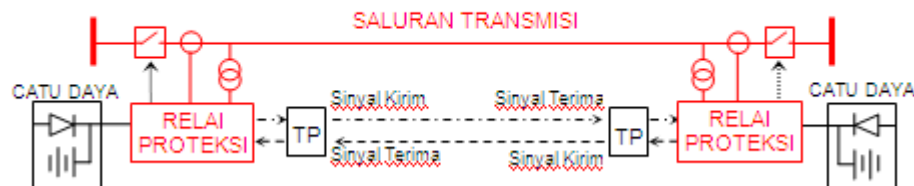
2.4 Pola Proteksi Penghantar

Sistem proteksi *bay* penghantar adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengamankan/mengisolir penghantar (saluran udara/saluran kabel) tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi dari gangguan temporer dan gangguan permanen yang terjadi pada penghantar tersebut. Secara umum, bagian dari sistem proteksi penghantar dapat digambarkan pada gambar 2.5 dan gambar 2.6 sebagai berikut.



Gambar 2.5 Typical Komponen Sistem Proteksi SUTET

Komponen sistem proteksi terdiri dari transformator arus (CT), transformator tegangan (PT/CVT), rele proteksi, pemutus tenaga (PMT), catu daya rangkaian pengawatannya (*wiring*) dan teleproteksi.



Gambar 2.6 Typical Komponen Sistem Proteksi SUTT

Daerah kerja proteksi *bay* penghantar adalah daerah di antara 2 (dua) atau lebih CT pada gardu-gardu induk berhadapan yang disebut sebagai unit proteksi penghantar. Rele proteksi mempunyai bagian-bagian utama sebagai terlihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7. Komponen Utama Relé Proteksi

Proteksi penghantar yang umum digunakan adalah skema proteksi menggunakan rele jarak dan rele diferensial saluran (*line current differential*). Pola proteksi untuk *bay* penghantar dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

Tabel 2.1. Pola Proteksi Penghantar 150 kV dan 70 kV

	Proteksi Utama	Proteksi Cadangan
SUTT 150 KV	<i>Rele jarak + Teleproteksi (TP)</i>	<i>Over Current Rele (OCR) + Ground Fault Rele (GFR) sebagai cadangan lokal zona 2 dan zona 3 rele jarak sebagai cadangan jauh.</i>
	<i>Line Current Differential Rele</i>	
SKTT 150 KV	<i>Line Current Differential Rele</i>	
	<i>Pilot Wire Differential Rele</i>	
SUTT 70 KV	<i>Rele jarak + Teleproteksi (TP)</i>	
	<i>Directional Selective Rele</i>	
	<i>Selective Ground Rele</i>	

2.5 Program Aplikasi *Mathcad*

Mathcad adalah suatu program aplikasi matematika berbasis *Windows* yang mempunyai unjuk kerja tinggi dalam menangani berbagai macam persamaan, angka, teks, maupun grafik.

Layar *interface* dari *Mathcad* merupakan *worksheet* (lembar kerja) kosong, pada *worksheet* tersebut kita bisa mengetikkan persamaan, data grafik, fungsi, teks, dan sebagainya.

Mengaktifkan *Mathcad* 2000 :

- Klik tombol *Start*.
- Arahkan pointer mouse pada menu *Programs*.
- Arahkan *pointer mouse* ke folder *MathSoft Apps*.
- Arahkan *pointer* pada item *Mathcad 2000 Professional* dan klik *mouse*.

Atau dengan cara :

Klik 2x pada ikon *Mathcad* maka pada layar monitor akan kita dapati *window* aplikasi utama dari *Mathcad 2000*, *worksheet* dan *window resource center*. Dengan menutup (*close*) *window resource center* maka kita sudah siap untuk menyelesaikan problem matematika.

Tampilan *Mathcad 2000*

Menu Utama

File Edit View Insert Format Math Symbolics Window Help

Menu utama merupakan pintu gerbang untuk akses ke perhitungan matematika, pembuatan grafik dan fungsi-fungsi simbolik. Pada menu ini juga tersedia perintah-perintah untuk menangani penyuntingan dan penataan *worksheet* secara detail.

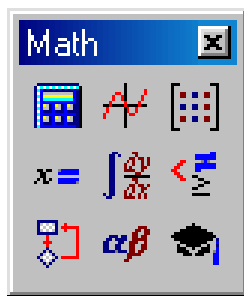
Toolbar Matematika

Mengaktifkan *toolbar* matematika :

- a. Klik menu *View*
- b. Arahkan *pointer* ke *Toolbars*
- c. Klik *Math*

Pada *toolbar* matematika terdapat 9 buah ikon yang digunakan untuk membuka palet-palet *operator-operator* matematika.

Toolbar matematika dan tombol ikon tersebut seperti di bawah ini :



Calculator toolbar



Evaluation toolbar



Programming toolbar



Graph toolbar



Calculus toolbar



Greek Symbol toolbar



Vector and Matrix toolbar



Boolean toolbar



Symbolic Keyword toolbar

Menggunakan palet *operator* matematika :

- Klik salah satu tombol ikon dari *bar* matematika
- Klik *operator* atau simbol-simbol yang ada pada palet untuk disisipkan ke dalam *worksheet*.

Toolbar standar



Pada *toolbar* terdapat tombol-tombol ikon perintah dari beberapa macam perintah kerja, misal membuka dan menyimpan file.

Toolbar format



Mengaktifkan toolbar format :

- Klik menu *View*
- Arahkan *pointer* ke *Toolbars*
- Klik *Formatting*

Untuk memformat teks dan persamaan matematika klik ikon yang dikehendaki.

Toolbar status



Pada bagian bawah *window Mathcad* terdapat *toolbar status* untuk menampilkan tips, *status AUTO*, *Caps Lock*, *Num Lock* dan halaman.

Membuat *Region* Teks

Membuat *region* teks :

- a. Klik pada ruang kosong di *worksheet* pada posisi kursor *crosshair*.
- b. Ketik tanda petik (“)
- c. Atau dengan klik *Insert*, lalu klik *Text Region*. Ketik teks yang dikehendaki.
- d. Atau dengan cara ketik teks yang dikehendaki pada posisi kursor *crosshair*.

Setelah ketik teks, tekan *space bar*.

Bekerja Dengan *Region* Matematika

Setiap persamaan *Mathcad*, paragraf teks dan grafik yang ada dalam *worksheet* merupakan obyek tersendiri yang disebut *region*.

Memilih satu *region* teks/matematika :

- Ketika meng klik teks atau pada persamaan matematikanya. maka :
 - a. *Region* akan dikelilingi oleh kotak persegi panjang.
 - b. Jika kursor diarahkan ke sisi dari kotak persegi panjang, kursor akan berubah menjadi gambar tangan yang fungsinya untuk menggerakkan *region*. Yaitu dengan cara didrag.

Pada *region* matematika :

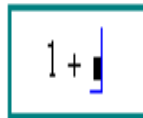
Jika diklik pada *region* matematika, akan tampak garis bawah berwarna biru untuk pemilihan angka/huruf pada persamaan matematika.

Contoh :



1+

Tampak pada worksheet



← Disebut *Placeholder*

Cara memilih dan menggeser beberapa *region* sekaligus :

- Klik pada ruang kosong *worksheet* pada posisi kursor *crosshair* dan drag kearah *region* yang dipilih sehingga tampil kotak pemilihan putus-putus. Kemudian lepas (*mouse*).
- Arahkan kursor ke salah satu *region* yang dipilih sehingga kursor akan berubah menjadi gambar tangan.
- Tekan *mouse* dan *drag region* yang telah dipilih kearah yang dikehendaki. Lalu lepas (*mouse*).
- Klik pada ruang kosong untuk menghilangkan kotak pemilihan putus-putus dari *region*.
- Atau dengan menekan tombol [Shift] dan klik *region-region* yang dipilih.
- Atau dengan klik menu *View*, kemudian pilih *Regions*.

Menghapus dan menempel satu/beberapa *region* :

- Pilih *region* yang akan dihapus sehingga tampak kotak pemilihan putus-putus.
- Klik menu *Edit*, dan pilih *Cut*.
- Klik menu *Edit* dan pilih *Paste*.

Membuat Persamaan Matematika

Klik pada ruang kosong *worksheet* sehingga tampak kursor *crosshair*.

Contoh :



Ketik

f(x):x+6[Spacebar]*(x^3[Spacebar]-1)

Tampak pada *worksheet*

$$f(x) := (x + 6) \cdot (x^3 - 1)$$



Ketik

f(x):x+6*(x^3[Spacebar]-1)

Tampak pada *worksheet*

$$x + 6 \cdot x^3 - 1$$



Ketik

f(x):x+6*(x^3-1)

Tampak pada *worksheet*

$$f(x) := x + 6 \cdot (x^3 - 1)$$



Ketik

x^2[Spacebar]

+3[Spacebar]

/5[Enter]

Tampak pada *worksheet*

$$\frac{x^2 + 3}{5}$$



Ketik

x^2[Spacebar]

+3

/5[Enter]

Tampak pada *worksheet*

$$x^2 + \frac{3}{5}$$

Memindahkan garis edit warna biru pada persamaan matematika dapat dengan menggunakan :

a. *Spacebar*.

- b. Atau dengan tanda panah (*arrow keys*).
- c. Atau dengan klik langsung pada bagian tertentu pada suatu persamaan matematika.

Mendefinisikan Variabel

Kita dapat mendefinisikan suatu angka sebagai suatu nama. Hal ini disebut dengan variabel.

Klik pada ruang kosong *worksheet* pada posisi kursor *crosshair*.

Contoh :



Ketik

Tampak pada *worksheet*

age:23

age := 23

Operator untuk definisi yaitu :

- Ketik tanda [:]
- Atau klik *operator*  pada *calculator toolbar*.

Untuk melihat hasil maka :



Ketik

Tampak pada *worksheet*

age=

age = 23

Menggunakan tanda [=] untuk melihat hasil.

Jika ingin mengganti nilai dari suatu variabel dapat dilakukan dengan :

- a. Klik disebelah kanan dari angka 23. Maka akan tampak garis edit warna biru.
- b. Tekan [*backspace*] untuk menghapus angka 23.
- c. Ketik angka baru yang dikehendaki.

d. Tekan [*Enter*].

Membuat persamaan variabel

$$\text{age} := 23 \quad \text{age} + 10 = 33$$

Contoh :

$$\text{old} := \text{age} \cdot 10 \quad \text{old} = 230$$

Proses mendefinisikan dan membuat persamaan variabel

Bekerja dalam *worksheet Mathcad* harus dari kiri ke kanan dan dari atas ke bawah. Hal ini penting karena *Program Mathcad* tidak akan memberikan hasil dari suatu persamaan bila tidak didefinisikan lebih dahulu.

Contoh :



Ketik

$y^2[\text{spacebar}][=]$

Tampak pada *worksheet*

$$y^2 = \quad$$

This variable or function is not defined above.



Ketik

$y[:]\text{10}$

$y^2[\text{spacebar}][=]$

Tampak pada *worksheet*

$$y := 10$$

$$y^2 = 100$$

Mendefinisikan Fungsi

Dalam mendefinisikan suatu fungsi, operator yang digunakan sama seperti pada variabel.

Dengan fungsi seperti diatas kita dapat menggunakannya dengan beberapa cara :

1. Memasukkan suatu nilai pada fungsi.

$$f(10) = 100$$

2. Membuat definisi variabel dan memasukkan dalam fungsi.

$$x := 3 \quad f(x) = 9$$

Selain mendefinisikan fungsi menggunakan tanda yang kita buat dengan menggunakan *keyboard* atau dengan menggunakan *Math toolbar*, kita juga dapat menggunakan fungsi-fungsi yang terpasang dalam *Mathcad*.

Fungsi-fungsi tersebut terdapat pada menu *Insert*, kemudian pilih *Function*.

Contoh :

$$\cos(60 \cdot \text{deg}) = 0.5$$

Mendefinisikan Range Variabel

Tanda untuk membuat nilai *range* variabel :

- a. Ketik [;].
- b. Atau dengan klik *operator range* variabel [] pada *Calculator toolbar*.

Contoh membuat *range* variabel x dengan nilai dari 0 sampai 10 yaitu :



Ketik

x:0;10

Tampak pada layar

x := 0 .. 10

Membuat *range* variabel dengan step.

Contoh membuat *range* variabel x dengan nilai dari 1 sampai 10, dengan *step* 1 :

Klik pada ruang kosong *worksheet* pada posisi kursor *crosshair*.



Ketik

Tampak pada layar

x:1,1.1;10 $x := 1, 1.1 \dots 10$

Mendefinisikan Vektor Dan Matrik

Membuat vektor :

- Klik pada ruang kosong *worksheet* pada posisi kursor *crosshair*.
- Ketik : **v:**
- Tekan [Ctrl] m Atau klik menu *Insert*, klik *Matrix*.
- Isi jumlah *rows* dan *columns*

Contoh : Buat vektor dengan 3 *row* dan 1 *column*

- Klik *Insert* atau *OK*.
- Isi nilai yang sesuai pada posisi *placeholder*.
Gunakan [Tab] untuk pindah dari *placeholder* satu ke *placeholder* lainnya.
Atau dengan klik ditempat yang diinginkan.

$$v := \begin{pmatrix} 3.3 \\ -1.2 \\ 8 \end{pmatrix}$$

Melihat nilai dari suatu vektor :

Dengan menggunakan tanda ([). Atau dengan klik  pada *Calculator toolbar*.

Contoh :



Ketik

Tampak pada *worksheet***v[0=** $v_0 = 3.3$



Ketik

Tampak pada *worksheet***v[1=** $v_1 = -1.2$

Membuat vektor dengan menggunakan range variabel

Contoh :



Ketik

Tampak pada *worksheet***i:0;2** $i := 0..2$ **v[i=** $v_i =$

3.3
-1.2
8

Membuat vektor dari suatu fungsi

Contoh :

$$b := 5 \quad a := 2 \quad f(v) := \frac{\sqrt{v}}{9 \cdot b^2} \cdot v + a$$

$$v := \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \\ 3 \end{pmatrix} \quad i := 0..2 \quad f(v_i) =$$

2.004
2-0.013i
2.023