

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Sebelumnya telah terdapat beberapa penelitian yang sama atau hampir sama untuk tinjauan pustaka yang dapat dijadikan rujukan antara lain:

Penelitian yang dilakukan oleh Arindra Tri Pamungkas (2016) yang berjudul “Perancangan Instalasi Listrik Pada Gedung Rumah Sakit JIH Surakarta”. Dalam penelitian ini salah satunya membahas tentang drop tegangan dan *breaking capacity*. Di mana perhitungan drop tegangan sangat berpengaruh pada penghantar. Sedangkan perhitungan *breaking capacity* digunakan untuk menentukan jenis pengaman yang akan digunakan agar sesuai dengan standar. Di samping itu juga membahas tentang Kuat Hantar Arus (KHA).

Penelitian yang dilakukan oleh Ezar Kuntoro Khairy (2016) yang berjudul “Perancangan Instalasi Listrik Gedung Rumah Sakit Al-Irsyad Surabaya”. Dalam penelitian ini juga membahas tentang Kuat Hantar Arus (KHA) yang digunakan untuk menentukan jenis dan tipe kabel yang digunakan agar standar dengan PUIL 2000 dalam batas amannya.

Penelitian yang dilakukan oleh Rafi’ah Ma’rifatul Muslimah Al-Kamil (2016) yang berjudul ”Perancangan system Instalasi Listrik Royan Sanur Hospital Bali”. Di dalam penelitian ini juga membahas tentang Kuat Hantar Arus (KHA), drop tegangan dan *breaking capacity*.

Dari tiga tinjauan di atas diharapkan dapat dijadikan acuan untuk melaksanakan penelitian tugas akhir ini agar berjalan sesuai yang diharapkan.

#### **2.2 Landasan teori**

##### **2.2.1 Penghantar**

Penghantar adalah suatu benda yang berbentuk logam ataupun non logam yang bersifat konduktor atau dapat mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain. Penghantar dapat berupa kabel ataupun berupa kawat penghantar.

Kabel ialah penghantar logam yang dilindungi dengan isolasi. Bila jumlah penghantar logam tadi lebih dari satu maka keseluruhan kabel yang berisolasi tadi dilengkapi lagi dengan selubung pelindung.

Kawat penghantar ialah penghantar yang juga logam tetapi tidak diberi isolasi. Contohnya ialah kawat *grounding* pada instalasi penangkal petir atau kawat penghantar pada sistem transmisi listrik tegangan menengah dan tinggi milik PLN .

Beberapa jenis kabel yang biasa digunakan dalam instalasi listrik adalah sebagai berikut:

a. Kabel NYA

Merupakan kabel berisolasi PVC dan berinti kawat tunggal. Warna isolasinya ada beberapa macam yaitu merah, kuning, biru dan hitam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Jenisnya adalah kabel udara (tidak untuk ditanam dalam tanah). Karena isolasinya hanya satu lapis, maka mudah luka karena gesekan, gigitan tikus atau gencetan. Dalam pemasangannya, kabel jenis ini harus dimasukkan dalam suatu conduit kabel. Conduit artinya adalah suatu selubung pelindung, ada yang berupa pipa besi, tetapi yang paling umum digunakan adalah pipa PVC (tetapi berbeda dengan pipa PVC untuk air). Conduit ini selain bertujuan melindungi kabel dari gangguan luar juga untuk memudahkan dalam hal pekerjaan penggantian atau penambahan kabel, karena hanya tinggal ditarik atau didorong saja. Bandingkan bila kabel tersebut ditanam dalam tembok tanpa conduit, tentu akan butuh pekerjaan tambahan berupa pembongkaran tembok. Karena itu, sesuai tujuannya penggunaan conduit sebenarnya tidak terbatas pada jenis kabel NYA saja, tetapi bisa dipakai untuk kabel NYM atau NYY.

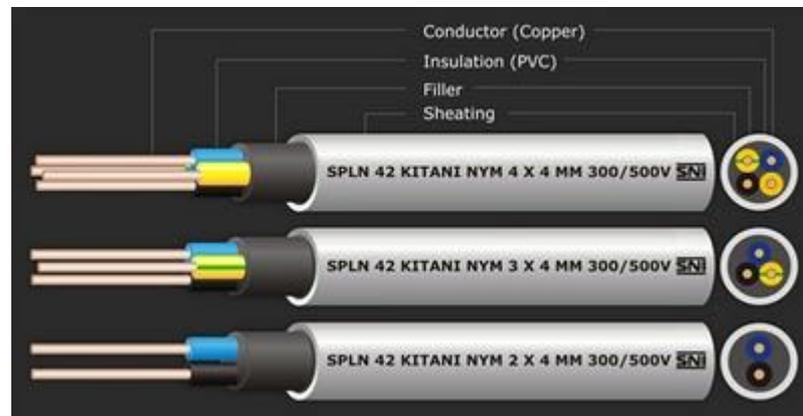


Gambar 2.1 Kabel NYA

(Sumber: <http://sucaco.com>)

### b. Kabel NYM

Kabel jenis ini mempunyai isolasi luar jenis PVC berwarna putih (cara mengenalinya bisa dengan melihat warna yang khas putih ini) dengan selubung karet di dalamnya dan berinti kawat tunggal yang jumlahnya antara 2 sampai 4 inti dan masing-masing inti mempunyai isolasi PVC dengan warna berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Jadi, seperti beberapa kabel NYA yang dijadikan satu dan ditambahkan isolasi putih dan selubung karet. Kabel ini relative lebih kuat karena adanya isolasi PVC dan selubung karet. Pemasangannya pada instalasi listrik dalam rumah bisa tanpa konduit (kecuali dalam tembok sebaiknya menggunakan konduit seperti yang dijelaskan sebelumnya). Kabel ini dirancang bukan untuk penggunaan di bagian luar (*outdoor*). Tetapi penggunaan konduit sebagai pelindung bisa juga dipertimbangkan bila ingin dipasang di luar ruangan. Harganya yang jelas lebih mahal dari tipe kabel NYA.

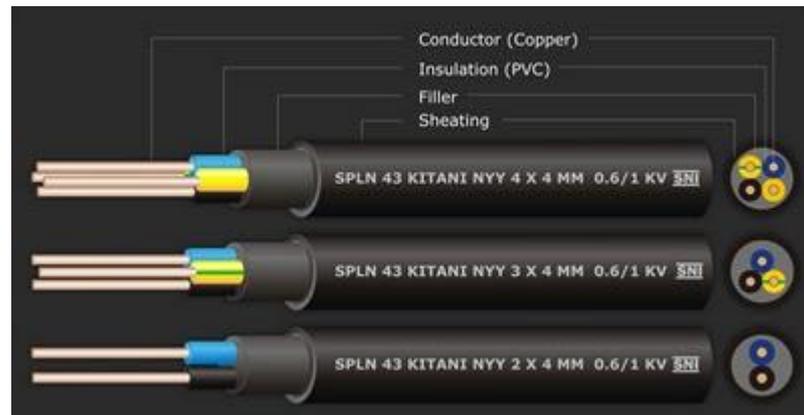


Gambar 2.2 Kabel NYM

(Sumber: <http://sucaco.com>)

### c. Kabel NYY

Warna khas kabel ini adalah hitam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 dengan isolasi PVC ganda sehingga lebih kuat. Karena lebih kuat dari tekanan gencetan dan air, pemasangannya bisa untuk *outdoor*, termasuk ditanam dalam tanah. Kabel untuk lampu taman dan di luar rumah sebaiknya menggunakan kabel jenis ini. Harganya tentu lebih mahal dibanding dua jenis kabel sebelumnya.

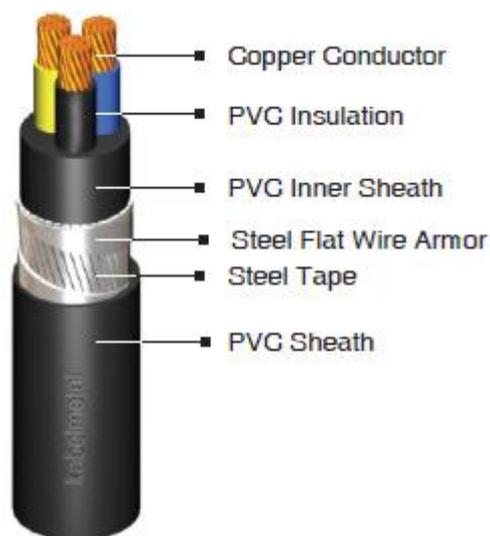


Gambar 2.3 Kabel NYN

(Sumber: <http://sucaco.com>)

#### d. Kabel NYFGbY

Kabel NYFGbY adalah jenis kabel listrik yang sangat kuat karena dilapisi beberapa pelindung sekaligus yakni isolator PVC warna hitam dan logam di bagian dalam. Kabel ini cukup keras dan tidak lentur dan biasa dipakai untuk instalasi bawah tanah, di dalam ruangan, di dalam saluran-saluran, dan di tempat-tempat terbuka yang membutuhkan perlindungan ekstra seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Kabel NYFGbY

(Sumber: <http://sucaco.com>)

e. Kabel BCC

Kabel Bare Copper Conductor (BCC) merupakan kawat tembaga telanjang yang biasanya digunakan di saluran atas tanah dan penghantar pentanahan atau penangkal petir seperti yang ditunjukkan Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kabel BCC

(Sumber: <http://sucaco.com>)

Dalam pemilihan penghantar selain memperhatikan isolasinya juga harus memperhatikan beberapa faktor lain sebagai pertimbangan yaitu :

a. Kemampuan hantar arus

Kabel listrik mempunyai ukuran luas penampang inti kabel yang berhubungan dengan kapasitas penghantaran arus listriknya. Dalam istilah PUIL, besarnya kapasitas hantaran kabel dinamakan dengan Kuat Hantar Arus (KHA).

Ukuran kabel dan KHA-nya sebaiknya kita pahami dengan baik untuk menentukan pemilihan kabel yang sesuai dengan kapasitas instalasi listrik rumah kita. Besar kapasitas daya listrik dalam suatu instalasi listrik rumah berhubungan dari berapa besar langganan listrik dari PLN. Dalam hal ini adalah berapa besar rating MCB yang terpasang di kWh meter . Besarnya KHA kabel harus lebih besar dari rating MCB, karena prinsipnya adalah MCB harus trip sebelum kabelnya terkena masalah.

Arus listrik yang melebihi KHA dari suatu kabel akan menyebabkan kabel tersebut menjadi panas dan bila melebihi daya tahan isolasinya, maka dapat menyebabkan rusaknya isolasi. Kerusakan isolasi bisa menyebabkan kebocoran arus listrik dan akibatnya bisa fatal seperti kesetrum pada manusia atau bahkan mengakibatkan terjadinya kebakaran.

Faktor lain dalam menentukan pemilihan kabel dengan KHA-nya adalah mengenai peningkatan kebutuhan daya listrik di masa depan. Bila dalam beberapa tahun ke depan ternyata ada penambahan daya listrik langganan PLN, tentu lebih baik sedari awal dipersiapkan kabel dengan ukuran yang sedikit lebih besar untuk mengakomodasi peningkatan kebutuhan daya listrik ini sehingga menghindari pekerjaan penggantian kabel. Tetapi perlu diperhatikan juga bila umur kabel ternyata sudah melewati 10 tahun. Pada kasus ini, pemeriksaan kondisi kabel dengan lebih teliti sebaiknya dilakukan untuk memastikan kabel masih dalam kondisi baik.

PUIL 2000 memberikan ketentuan mengenai besarnya diameter dari penghantar kabel dan maksimum KHA terus-menerus yang diperbolehkan pada kabel tipe NYA, NYM dan NYY.

Menurut PUIL 2000 pasal 5.5.3.1 bahwa “penghantar sirkit akhir yang menyuplai motor tunggal tidak boleh mempunyai KHA kurang dari 125% arus pengenal beban penuh.”

$$\text{- Untuk Arus Searah : } I_n = P/V \text{ (A)} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{- Untuk Arus Bolak-balik Satu Fasa: } I_n = P/(V \cdot \cos \varphi) \text{ (A)} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{- Untuk Arus Bolak-balik Tiga Fasa: } I_n = P/(\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi) \text{ (A)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{KHA} = 125\% \times I_n \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$I$  = Arus Nominal Beban Penuh (A)

$P$  = Daya Aktif (W)

$V$  = Tegangan (V)

$\cos \varphi$  = Faktor Daya

Tabel 2.1 KHA Terus – Menerus (Sumber: PUIL 2000, hlm. 304)

Jenis kabel	Luas penampang mm <sup>2</sup>	KHA terus menerus					
		Berinti tunggal		Berinti dua		Berinti tiga dan empat	
		di tanah	di udara	di tanah	di udara	di tanah	di udara
1	2	A	A	A	A	A	A
	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	27	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
NYN	10	122	79	92	66	75	60
NYBY	16	160	105	121	89	98	80
NYFGbY							
NYRGbY	25	206	140	153	118	128	106
NYCY	35	249	174	187	145	157	131
NYCWY	50	296	212	222	176	185	159
NYSY							
NYCEY	70	365	269	272	224	228	202
NYSEY	95	438	331	328	271	275	244

Tabel 2.2 KHA Terus – Menerus (Sumber: PUIL 2000, hlm. 310)

Jenis kabel	Luas penampang nominal mm <sup>2</sup>	KHA terus menerus					
		Tegangan pengenal 0,6/1 kV (1,2 kV)		Tegangan pengenal 3,6/6 kV (7,2 kV)		Tegangan pengenal 6/10 kV (12 kV)	
		di tanah	di udara	di tanah	di udara	di tanah	di udara
		A	A	A	A	A	A
1	2	3	4	5	6	7	8
	16	100	89	-	-	-	-
	25	129	118	132	122	129	120
	35	155	145	157	147	154	145
	50	183	176	186	178	181	174
NYN	70	225	224	227	222	221	217
NYCY	95	270	271	272	271	264	264
NYCWY	120	306	314	308	312	298	304
NYSY							
NYHSY	150	344	361	344	354	332	343
	185	389	412	388	406	375	393
	240	452	484	449	480	432	464
	300	509	549	503	547	484	528

#### b. Drop Tegangan

Drop voltage atau disebut dengan susut tegangan merupakan perbedaan antara tegangan sumber dengan tegangan di beban, karena tegangan di beban tidak sama dengan tegangan sumber yaitu tegangan di beban lebih kecil dari tegangan sumber, dapat disebabkan oleh faktor arus dan impedansi saluran.

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti (*PT.PLN(Persero),2010*).

Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh  $V$  pada penghantar semakin besar jika arus  $I$  di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar  $R\ell$  semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya (*Daryanto,2010*).

Berdasarkan dari standar SPLN 1 : 1978, dimana ditentukan bahwa variasi tegangan pelayanan, sebagian akibat jatuh tegangan, karena adanya perubahan beban, maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya. Besarnya rugi tegangan pada saluran transmisi tersebut, diukur pada titik yang paling jauh (ujung).

Rumus drop tegangan adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times l ( R \cos\phi + X_L \sin\phi ) \text{ tiga fasa.....(2.5)}$$

$$\Delta V = 2 \times I \times l ( R \cos\phi + X_L \sin\phi ) \text{ satu fasa.....(2.6)}$$

Besar prosentase drop tegangan pada saluran transmisi dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \Delta V / V \times 100\%.....(2.7)$$

$$\text{atau } V_{\text{drop}} = \frac{I \cdot Z}{V_{LN}} \times 100\%.....(2.8)$$

Keterangan :

$\Delta V$  = Drop tegangan (Volt/%)

R = Resistansi saluran ( $\Omega/\text{km}$ )

$X_L$  = Induktansi saluran (H/km)

I = Arus beban (A)

F = Frekuensi (50 Hz)

l = Panjang hantaran tegangan menengah (kms)

Z = Impedansi  $\sqrt{(R)^2 + (X_L)^2}$  ( $\Omega$ )

$V_{LN}$  = Tegangan *line to neutral* (V)

c. Warna Penghantar

Peraturan warna selubung penghantar dan warna isolasi inti penghantar harus diperhatikan pada saat pemasangan. Hal tersebut sangat diperlukan untuk mendapatkan kesatuan pengertian mengenai penggunaan warna yang digunakan untuk mengenal penghantar guna keseragaman dan mempertinggi keamanan.

Tabel 2.3 Pengenal Inti atau Rel (Sumber: PUIL 2000, hlm. 300)

Inti atau rel	Pencenal		
	Dengan huruf	Dengan lambang	Dengan warna
1	2	3	4
A. Instalasi arus bolak-balik : fase satu fase dua fase tiga netral	L1 / R L2 / S L3 / T N		merah kuning hitam biru
B. Instalasi perlengkapan listrik : fase satu fase dua fase tiga	U / X V / Y W / Z		merah kuning hitam
C. Instalasi arus searah : positif negatif kawat tengah	L + L - M	+ -	tidak ditetapkan tidak ditetapkan biru
D. Penghantar netral	N		biru
E. Penghantar pembumian	PE		loreng kuning      hijau-

Tabel 2.4 Warna Selubung Kabel Berselubung PVC dan PE (Sumber: PUIL 2000, hlm. 300)

No.	Jenis kabel	Tegangan pengenal V	Warna selubung
1	2	3	4
1.	Kabel berisolasi PVC	500	putih
2.	Kabel udara berisolasi PE, PVC atau XLPE	600 – 1000	hitam
3.	Kabel tanah berselubung PVC dan PE	600 – 1000	hitam
4.	Kabel tanah berselubung PVC dan PE	> 1000	merah

### 2.2.2 Pengaman

Pengaman adalah suatu peralatan listrik yang digunakan untuk melindungi pengguna instalasi listrik maupun komponen instalasi listrik dari kerusakan atau bahaya yang diakibatkan oleh gangguan seperti arus beban lebih atau arus hubung singkat.

Pengaman dalam instalasi listrik memiliki beberapa fungsi antara lain:

- a) Isolasi, yaitu untuk memisahkan instalasi atau bagian lainnya dari catu daya listrik untuk alasan keamanan.
- b) Kontrol, yaitu untuk membuka atau menutup sambungan sirkit instalasi selama kondisi operasi normal untuk tujuan operasi dan perawatan.
- c) Proteksi, yaitu untuk mengamankan kabel, peralatan listrik dan manusia terhadap kondisi yang berbahaya seperti tegangan sentuh, beban lebih, atau hubung singkat dengan memutus arus gangguan dan mengisolasi gangguan yang terjadi.

Beberapa komponen pengaman antara lain pengaman beban lebih (seperti MCB, MCCB, NFB), pengaman arus hubung singkat (seperti *Fuse* atau sekering), dan pengaman arus bocor (seperti ELCB).

#### a. *Mini Circuit Breaker* (MCB)

Pada MCB terdapat dua jenis pengaman yaitu pengaman *thermis* yang berfungsi mengamankan arus beban lebih dan pengaman *elektromagnetis* yang

berfungsi untuk mengamankan jika terjadi hubung singkat. MCB dibuat hanya memiliki satu kutub untuk pengaman satu fase, sedangkan untuk pengaman tiga fase biasanya menggunakan tiga buah MCB yang tuasnya disatukan. Sehingga saat terjadi gangguan pada salah satu kutub maka kutub yang lain juga akan ikut terputus.

b. *Molded Case Circuit Breaker (MCCB) atau No Fuse Breaker (NFB)*

MCCB merupakan gawai pengaman yang memiliki fungsi sama seperti MCB yaitu memutuskan saat terjadi gangguan beban lebih atau hubung singkat. Perbedaannya adalah pada casingnya dimana MCCB memiliki tiga buah terminal fase pada satu casing. Kadang kala MCCB disebut juga dengan NFB (*no fuse breaker*) karena merupakan pemutus tanpa sekering.

c. Fuse atau sekering

Sekering adalah pengaman yang bekerja dengan memutuskan suatu penghantar saat terjadi gangguan hubung singkat. Penghantar tersebut di desain sedemikian rupa sehingga saat terjadi hubung singkat, arus yang besar akan melelehkan penghantar tersebut sehingga memutuskan rangkaian dari sumber. Selain itu saat ini sudah banyak sekering yang bekerja secara mekanis. Sekering sudah sangat jarang dipakai karena fungsinya digantikan oleh MCB yang pengoperasiannya lebih mudah.

d. *Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB)*

ELCB merupakan sakelar yang bekerja berdasarkan arus bocor yang dirasakan dengan memutuskan rangkaian dari sumber. Arus bocor sendiri ada yang langsung mengalir ke bumi dan ada juga yang mengalir ke tubuh makhluk hidup yang menyentuh badan peralatan yang mengalami kegagalan isolasi. Arus jatuh nominal ( $I_f$ ) dari sakelar merupakan arus differensial terkecil yang dapat menyebabkan sakelar ini bekerja. Dengan syarat tegangan sentuh yang ditanahkan tidak boleh melebihi 50 Volt ke tanah dan syarat untuk tahanan dari lingkaran arus pentanahannya ( $R_a$ ) sebesar :

$$R_a \leq \frac{50}{I_f} \text{ Volt}$$

Salah satu sakelar arus bocor yang sering dipakai adalah ELCB dengan arus jatuh nominal 30 mA. Sakelar ini cukup aman karena akan bekerja ketika merasakan adanya arus bocor sebesar 30 mA, dan seperti kita ketahui bahwa arus dibawah 50 mA tidak akan menimbulkan gejala berbahaya jika tersentuh manusia.

a. *Breaking Capacity*

Di samping itu juga ada perhitungan *breaking capacity*. *Breaking capacity* merupakan kapasitas dari pemutusan *circuit breaker* dengan parameter tertentu. Dalam menentukan besarnya nilai dari *circuit breaker* wajib mengetahui 2 parameter dasar, yaitu:

- a. Arus beban (*load current*)  $I_B$ .
- b. Nilai arus hubung singkat tiga fasa atau dikenal dengan istilah  $I_{SC}$  pada posisi asal mula instalasi pegawatan.

*Circuit breaker* terpilih akan selalu membandingkan arus setting  $I_r$  dengan arus beban  $I_B$ , serta *breaking capacity*-nya  $I_{CU}$  dengan *prospective*  $I_{SC}$ . Ini adalah aturan dasar yang terdapat pada standar instalasi *circuit breaker*.

Di dalam IEC 947-2 telah didefinisikan karakteristik *Service Breaking Capacity* yang baru ( $I_{CS}$ ), yang mana menggambarkan kemampuan dari peralatan (CB) untuk kembali beroperasi secara normal setelah *short-circuit breaking* (pemutusan arus hubung singkat) pada nilai tertentu yang mungkin terjadi.

Meskipun di sana tidak ada aturan dalam standar instalasi (IEC 364 atau NF 15-100) yang sesuai pada kegunaan dari nilai  $I_{CS}$ , disarankan untuk memilih peralatan yang memiliki nilai *service breaking capacity*  $I_{CS} \geq$  nilai kemungkinan hubung singkat  $I_{SC}$ . Hal ini cukup penting dan jauh lebih bijak dalam rangka untuk meyakinkan kelangsungan kerja serta kehandalan sistem yang lebih optimal.

b. Kapasitas Hubung Singkat

Hubung singkat atau *short circuit* menurut IEC 60909 adalah hubungan konduksi sengaja atau tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial.

Rumus:

$$I_{SC} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} \cdot Z} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

$I_{SC}$  = Arus hubung singkat (A)

$V_{LL}$  = Tegangan *line to line* (V)

$Z$  = Impedansi  $\sqrt{(R)^2 + (X_L)^2}$  ( $\Omega$ )