

REKABENTUK SISTEM PERLINDUNGAN KILAT
UNTUK KAWASAN KOMPLEKS SUKAN
KAMPUS KEJURUTERAAN USM

Oleh

MOHD FAZLI BIN MOHD FADZIL

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat
keperluan untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRIK)

Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik
Universiti Sains Malaysia

Mac 2005

**PENGESANAN CAHAYA MENGGUNAKAN
PENGLIHATAN MESIN**

**Disertasi ini dikemukakan kepada
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian**

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRONIK)

Oleh:

Abd Moin Bin Haji Omar

**Pusat Pengajian Kejuruteraan
Elektrik dan Elektronik
Universiti Sains Malaysia**

Mac 2005

ABSTRAK

Sambaran kilat boleh mengakibatkan kerosakkan harta benda, kecederaan yang teruk dan kematian yang menyedihkan. Disebabkan oleh bahaya yang dinyatakan itu, semua jenis bangunan lebih dari tiga tingkat akan dilengkapi dengan sistem perlindungan kilat. Didapati kawasan Kompleks Sukan Universiti Sains Malaysia Kampus Kejuruteraan masih lagi tidak dilengkapi dengan sistem perlindungan kilat. Setelah diselidiki, kawasan yang masih terdedah dengan risiko terkena sambaran petir ialah kawasan padang bola sepak satu, padang bola sepak dua dan padang rugby. Tiga kawasan ini sentiasa dipenuhi oleh warga kampus setiap petang. Oleh itu peratus kecederaan dan kematian adalah banyak disebabkan kawasan ini tidak mempunyai sistem perlindungan kilat. Dalam projek ini, saya merekabentuk satu sistem perlindungan kilat yang dapat memberi perlindungan kepada warga kampus yang menggunakan padang setiap petang. Sistem perlindungan kilat di padang ini terbahagi kepada dua bahagian. Bahagian yang pertama menampung kawasan di sebelah tiang gol. Bahagian ini direkabentuk dengan meletakkan jaring besi setinggi 20 meter di sepanjang lebar padang. Bahagian kedua pula melindungi kawasan tengah padang. Bahagian ini diletakkan dua batang tiang bendera besi di setiap tepi padang. Tiang bendera ini juga setinggi 20 meter. Jaring besi dan tiang bendera ini dilengkapi dengan sistem kebumikan arus yang berlebihan ke tanah. Setelah dua bahagian itu direkabentuk, sekali lagi kawasan padang tersebut diselidiki. Didapati kawasan ini telah dapat dilindungi dari risiko bahaya yang akan terkena akibat dari sambaran kilat. Dengan itu kawasan ini adalah selamat diduduki ketika apa jua jenis cuaca.

ABSTRACT

Lightning strike is one of the phenomenons that can cause damage of properties, badly injury, and also the death. Cause of that, all the buildings which have more than 3 floors, must equip with the lightning conductor. For this project, one investigation have made to the area of Sport Centre of University Science Malaysia, Engineering Campus which doesn't have the lightning protector. From that investigation, football field 1, football field 2 and rugby field have a high risk of lightning strike. In addition, these fields always full with the student everyday and definitely it is so dangerous. In this project, I have designed the lightning protection system which will protect the people who play at the fields of Sport Center. This system is divided by two sections. First section will responsible to protect the goal side. It is designed with 20 m high of iron net along the field wide. The second section will protect the center of the field. It has 20 meter high of two flag-poles at each side of field. Those flag poles and the iron net are equipped with the earth system for the over-current when the lightning strike occurs. From this project, the risk of lightning strike to people is less and safe for people to play at any time and any weather.

PENGHARGAAN

Syukur Alhamdulillah kepada tuhan yang memberi rahmat. Tanpa peluang yang dikurniakan oleh-Nya, maka tidaklah juga berupaya penulis mengecap nikmat, berjaya dalam menyiapkan projek penyelidikan tahun akhir ini, dengan agak sempurna.

Sokongan dan bantuan daripada insan-insan yang sentiasa memberikan dorongan dan penyayang, adalah sentiasa dikenang. Segunung kasih untuk emak yang tidak putus-putus mendoakan kejayaan anakmu ini. Setinggi penghargaan diucapkan kepada penyelia projek, Dr Ir Shafruddin Masri yang sentiasa bersama-sama mengerah idea, menempuh kesukaran dan membina komitmen yang tinggi dalam projek ini sehingga ketitik penghujungnya.

Jutaan terima kasih kepada semua kakitangan Jabatan Pembangunan Universiti Sains Malaysia Kampus Kejuteraan yang telah banyak membantu dari segi teknikal. Terima kasih juga untuk Encik Mohd Rozaidi Mohd Razali, Pelukis Pelan di Jabatan Pembangunan kerana dalam kesibukan beliau, beliau dapat juga membantu saya dalam mendapatkan pelan kompleks sukan.

Selain itu, kepada semua kakitangan Perunding Tham Zamin Bersekutu yang merupakan tempat saya menjalankan latihan industri, ingin mengucapkan ribuan terima kasih di atas kerjasama yang telah diberikan.

Tidak lupa juga kepada teman-teman seperjuangan terutamanya Nor Aziah bt Abdul Hamid kerana telah banyak memberi cadangan dan dorongan yang tidak putus-putus. Terima kasih segalanya yang secara langsung dan tidak langsung memberikan pandangan sepanjang saya menjalankan projek ini.

Akhir sekali saya mendoakan kesejahteraan dan keselamatan kepada sesiapa sahaja samada secara eksplisit mahupun implisit di dalam menyiapkan projek penyelidikan tahun akhir ini.

Terima kasih semua.

KANDUNGAN

	MUKA SURAT
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PENGHARGAAN	iii
KANDUNGAN	v
SENARAI RAJAH	vii
SENARAI JADUAL	ix
BAB 1	Pengenalan
	1.1 UMUM 1
	1.2 SEJARAH KILAT 1
	1.3 KEPENTINGAN PROJEK 2
	1.4 OBJEKTIF PROJEK 4
	1.5 KAEDAH PROJEK 5
BAB 2	Kajian Ilmiah
	2.1 PENGENALAN - KEJADIAN KILAT 7
	2.2 PROSES ELEKTRIFIKASI AWAN 8
	2.3 JENIS-JENIS KILAT 9
	2.4 TEORI SAMBARAN KILAT KE BUMI 10

		2.5 KONDUKTOR KILAT	16
		2.6 PENGUKURAN TAHANAN JENIS TANAH	18
		2.7 FAKTOR RINTANGAN TANAH	20
		2.8 BAHAYA-BAHAYA YANG TIMBUL	24
BAB	3	PERLAKSANAAN PROJEK	
		3.1 KIRAAN KAWASAN PERLINDUNGAN	31
		3.2 REKABENTUK YANG DICADANGKAN	35
		3.3 KONDUKTOR KILAT YANG DIGUNAKAN	38
BAB	4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
		4.1 KEADAAN SETELAH REKABENTUK SIAP	39
		4.2 KONDUKTOR YANG DIGUNAKAN	
			43
		4.3 PERBINCANGAN	44
BAB	5	KESIMPULAN	
		5.1 KESIMPULAN	46
RUJUKAN			
LAMPIRAN A1		PELAN-PELAN YANG BERKAITAN	

SENARAI RAJAH

	Muka Surat
Rajah 1.1 : Kawasan sekitar Kompleks Sukan USM	3
Rajah 2.1 : Jenis-jenis kilat	9
Rajah 2.2 : Teori sambaran kilat	11
Rajah 2.3 : Jenis-jenis konduktor	17
Rajah 2.4 : Penggunaan konduktor	17
Rajah 2.5 : Konduktor plat	18
Rajah 2.6 : Rintangan tanah mengikut kedalaman tanah	21
Rajah 2.7 : Rintangan tanah mengikut kelembapan tanah	21
Rajah 2.8 : Rintangan tanah mengikut suhu	22
Rajah 2.9 : Perubahan dalam tanah	23
Rajah 2.10 : Voltan sentuh	25
Rajah 2.11 : Voltan langkah	28
Rajah 2.12 : Voltan pindah	29
Rajah 3.1 : Pelan hadapan kompleks sukan	32
Rajah 3.2 : Pelan belakang kompleks sukan	32
Rajah 3.3 : Pelan sisi kanan kompleks sukan	33
Rajah 3.4 : Pelan sisi kiri kompleks sukan	33
Rajah 3.5 : Pelan bumbung	34
Rajah 3.6 : Jaring besi	36
Rajah 3.7 : Tiang bendera	37
Rajah 3.8 : Konduktor kilat bersama dimensi	38

Rajah 4.1 : Keadaan padang bola 1 yang telah dilindungi	40
Rajah 4.2 : Keadaan padang bola 2 yang telah dilindungi	41
Rajah 4.3 : Keadaan padang rugby yang telah dilindungi	42
Rajah 4.4 : Konduktor yang digunakan	43
Rajah 4.5 : Satu konduktor kilat	44
Rajah 4.6 : Dua konduktor kilat	45

SENARAI JADUAL

	Muka Surat
Jadual 2.1 : Rintangan tanah mengikut jenis tanah	20
Jadual 2.2 : Had voltan sentuh dan tempoh gangguan	27
Jadual 2.3 : Voltan langkah dan tempoh gangguan	29

BAB 1

Pengenalan

1.1 Umum

Kamus Dewan Edisi ketiga menyatakan kilat ialah satu cahaya yang memancar di langit sebelum guruh berbunyi manakala petir pula ialah bunyi guruh yang kuat. Ia juga disertai oleh kilat. Kilat merupakan kejadian alam yang selalu memancarkan kuasa elektrik ke bumi tanpa dapat dikawal dan menyebabkan kerugian harta benda dan kematian manusia. Tiada seorang pun yang dapat mengubah situasi ini.

Kilat telah banyak membuat kerugian pada manusia dan kerosakan pada peralatan sejak dulu. Semakin banyak pemakaian alat elektronik dan peralatan rintangan rendah, semakin meningkatlah jumlah statistik kerosakan yang ditimbulkan oleh pengaruh sambaran kilat secara langsung atau pun tidak langsung.

Kilat juga merupakan satu kuasa yang luar biasa seperti kilauan cahaya dan bunyi guruh yang sangat menakutkan. Semenjak kejadian manusia, kilat telah banyak memberi kesan terhadap minda dan cara pemikiran mengenai kilat. Pada mulanya, kilat dianggap sebagai Dewa dan guruh itu dikaitkan dengan kemarahannya.

Pada zaman Tamadun Indus pula, Kitab Vedik menyatakan bahawa Indra membawa halilintar di atas kenderaan yang ditarik oleh binatang. Pada zaman Yunani kuno, kilat dipandang sebagai suatu petanda azab yang dihantar oleh dewa Zeus. Kaum Dayak Amerika Utara dan suku kaum di benua Afrika pula mempercayai bahawa kilat itu terhasil daripada tepukan sayap seekor burung dewa yang bernama 'Thunderbird' yang kini nama ini digunakan secara komersial sebagai contoh jenama dan simbol kenderaan moden.

1.2 Sejarah Kilat

Kajian pertama secara saintifik tentang kilat telah dijalankan oleh Benjamin Franklin pada pertengahan kedua abad ke-18. Beliau merupakan orang pertama menjalankan ujikaji bagi membuktikan bahawa kilat itu berunsur elektrik.

Ujikaji yang dijalankan ialah daripada seorang lelaki berdiri di atas pemijak elektrik sambil memegang rod besi dengan sebelah tangan akan menghasilkan nyahcas elektrik di antara sebelah tangan yang lain dengan bumi. Manakala sekiranya lelaki berpijak di atas bumi menghasilkan bunga api antara rod besi dengan wayar ke bumi dengan perantaraan pemegang lilin bertebat. Tujuan ujikaji adalah untuk membuktikan bahawa awan-awan itu bercas elektrik, maka sekiranya pembuktian itu benar, ini bererti kilat itu pun berunsur elektrik.

Pada bulan Mei 1752, Thomas-Francois D'Alibbard berjaya melaksanakan ujikaji yang dicadangkan oleh Franklin. Terdapat bunga api yang terhasil melompat dari rod besi semasa berlaku ribut petir. Kejadian ini membuktikan bahawa awan petir mengandungi cas elektrik. Dalam bulan Julai 1753, G.W. Richman seorang ahli fizik yang bekerja di Rusia mengalami nahas sehingga membawa maut akibat panahan petir. Sebelum Franklin melakukan ujian itu, beliau telah terfikir satu idea yang lebih baik untuk membuktikan teori tersebut iaitu dengan menggunakan layang-layang elektrik.

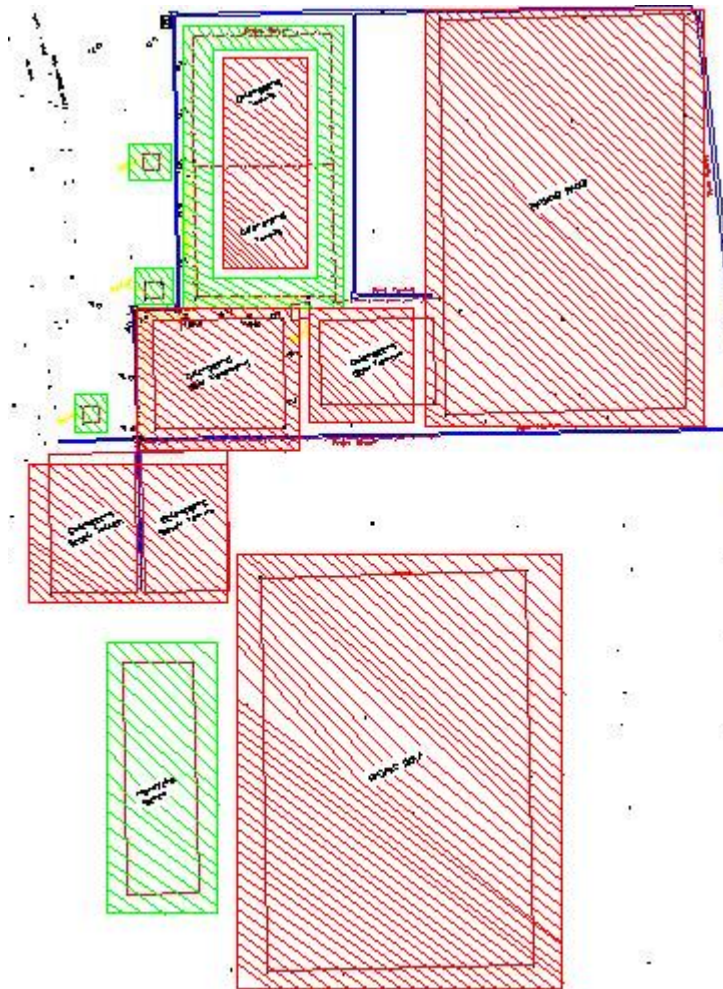
1.3 Kepentingan Projek

Seperti yang kita tahu, semua bangunan yang melebihi dua tingkat mestilah mempunyai sistem perlindungan kilat tersendiri. Sistem perlindungan kilat ini perlulah dipasang bertujuan untuk mengelakkan kerosakkan harta benda yang akan diakibatkan oleh kilat ini. Sistem ini juga boleh menyelamatkan nyawa manusia yang tinggal di bangunan tersebut dari terkena kejutan elektrik yang mempunyai arus yang tinggi. Tempat-tempat lain yang memerlukan perlindungan kilat ini ialah padang-padang permainan dan padang-padang yang digunakan untuk tujuan sukan.

Seperti yang kita lihat, padang di kompleks sukan kampus kejuruteraan tidak mempunyai sistem perlindungan kilat. Ini boleh membahayakan nyawa pengguna padang ini iaitu warga kampus ini sendiri dengan mendedahkan diri mereka kepada sambaran kilat. Setiap petang, padang ini menjadi tempat perkumpulan warga kampus untuk beriadah. Oleh itu projek yang akan saya jalankan ini iaitu sistem perlindungan kilat untuk kawasan kompleks sukan adalah begitu penting demi keselamatan warga kampus.

Jika projek saya diterima, Universiti Sains Malaysia akan menggunakan rekabentuk saya ini untuk dipasang di kawasan padang kompleks sukan.

Merujuk kepada Rajah 1.1, kawasan yang ditandakan dengan warna hijau adalah kawasan yang selamat dilindungi oleh sistem perlindungan kilat dari bangunan. Manakala kawasan yang bertanda merah adalah kawasan yang masih lagi belum dilindungi dengan apa-apa jenis sistem perlindungan kilat. Seperti yang kita lihat, kawasan merah iaitu kawasan yang masih lagi bahaya adalah begitu banyak. Oleh itu peratus untuk warga kampus terkena sambaran kilat adalah banyak. Ini menjadikan projek saya begitu penting untuk menyelamatkan warga kampus.



Rajah 1.1 : Kawasan sekitar Kompleks Sukan USM Kampus Kejuruteraan

Kawasan berlorek merah adalah kawasan yang berisiko terkena sambaran kilat, manakala kawasan yang berlorek hijau adalah tempat yang selamat kerana telah dilindungi sistem perlindungan kilat

1.4 Objektif Projek

Projek ini bertujuan untuk merekabentuk satu sistem perlindungan kilat bagi kawasan kompleks sukan Universiti Sains Malaysia, Kampus Kejuruteraan.

Kilat merupakan suatu fenomena alam yang wujud disebabkan parameter fizikalnya. Daripada Penyelidikan Meiappa (1976) terdapat 50% daripada taburan kilat yang berlaku di kawasan Kuala Lumpur bernilai 37 kA. Ini bermakna keberangkilian seseorang itu akan terkena panahan kilat secara langsung atau tidak langsung adalah sangat tinggi. Kilat mempunyai tenaga yang boleh menyebabkan kecederaan atau kematian kepada manusia. Kerosakan harta benda juga boleh diakibatkan oleh kilat.

Oleh itu, objektif utama projek yang saya jalankan ini adalah untuk menyelamatkan warga kampus dari terkena sambaran kilat. Warga kampus yang terkena sambaran kilat ini berkemungkinan cedera parah atau kematian. Dengan itu, sebelum kejadian-kejadian yang tidak dikehendaki ini berlaku, kita perlulah berikhtiar untuk mengelaknya iaitu dengan membina sistem perlindungan kilat.

Objektif kedua pula, sistem perlindungan kilat ini juga boleh mengelakkan kita daripada mengalami kerugian yang tinggi. Jika bangunan dan harta benda lain terkena sambaran petir, kerosakkan harta benda pasti akan terjadi.

Objektif lain yang mahu dicapai ialah saya ingin memastikan warga kampus boleh menggunakan padang setiap masa. Buat pengetahuan semua, padang di kampus ini hanya boleh digunakan ketika cuaca berada dalam keadaan baik. Ini adalah kerana, apabila cuaca tidak baik seperti hujan, semua warga kampus takut untuk beriadah kerana bimbangkan sambaran kilat.

Objektif terakhir saya ialah saya boleh mempelajari perkara-perkara berkaitan dengan sistem perlindungan kilat ini. Pelajaran ini sangat penting dan berguna kepada saya apabila saya menjadi Jurutera Elektrik di mana-mana konsultan nanti.

1.5 Kaedah Projek

Kaedah projek tertumpu kepada rekabentuk sistem perlindungan kilat ini. Projek ini dijalankan secara berperingkat-peringkat untuk kemudahan perjalanan kerja. Pembahagian peringkat-peringkat ini adalah seperti berikut :

1.5.1 Peringkat Pertama : Mencari maklumat dan teori berkaitan projek

Semua maklumat mengenai projek seperti semua jenis sistem perlindungan kilat, bahaya-bahaya yang mungkin akan timbul dan ruang-ruang yang dapat dilindungi sistem perlindungan kilat telah saya kumpul dari hari pertama saya mendapat tajuk projek tahun akhir.

1.5.2 Peringkat Kedua : Mendapatkan pelan kawasan kompleks sukan

Dalam peringkat ini saya dikehendaki pergi ke Pejabat Pembangunan USM Kampus Kejuruteraan untuk mendapatkan pelan keseluruhan kawasan kompleks sukan. Antara senarai pelan yang diperolehi ialah:

1.5.2.1 Pelan Sistem Perlindungan Kilat Bangunan Kompleks Sukan

1.5.2.2 Pelan Keseluruhan Kawasan Kompleks Sukan (site plan)

1.5.2.3 Pelan Keseluruhan Padang yang terdapat di Kawasan Kompleks Sukan

1.5.3 Peringkat Ketiga : Mempelajari cara penggunaan Perisian AutoCAD LT

Untuk merekabentuk sistem perlindungan kilat ini, saya perlu mempelajari satu perisian yang digunakan. Perisian yang dimaksudkan ialah AutoCAD LT. Kesemua syarikat-syarikat konsultan Mekanikal dan Elektrikal di seluruh Malaysia menggunakan perisian ini untuk merekabentuk sesuatu pelan.

1.5.4 Peringkat Keempat : Merekabentuk sistem perlindungan kilat

Projek ini memerlukan fokus pada peringkat ini. Rekabentuk yang telah siap akan diperiksa oleh penyelia dan sebarang kesalahan akan dibetulkan sebelum rekabentuk terakhir dihantar.

1.5.5 Peringkat Kelima : Penyediaan Model Sistem

Pada peringkat ini saya telah membuat satu model bangunan kompleks sukan dan kawasan padang. Model ini akan menyenangkan saya apabila menerangkan mengenai projek saya kelak.

1.5.6 Peringkat Keenam : Penyediaan Laporan

Ini adalah peringkat terakhir. Pada peringkat ini saya dikehendaki menyiapkan satu laporan lengkap mengenai projek yang saya lakukan

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 Kejadian Kilat

Peristiwa kilat ada kaitannya dengan awan petir. Awan petir terbentuk ketika massa (jumlah yang terlalu banyak) udara panas bergerak ke atas. Udara panas bergerak ke atas. Udara membawa wap air dalam jumlah yang sangat besar. Ketika massa udara naik, udara menjadi dingin. Dalam keadaan ini udara mengandung wap air yang lebih sedikit daripada ketika udara panas. Wap air yang berlebihan ini berkondensasi menjadi titik-titik air yang berbentuk awan.

Awan petir merupakan asas kejadian kilat. Awan petir terjadi pada ketinggian 1 hingga 2 km di atas paras bumi dan mengembang ke atas hingga 12 ke 14 km dari bumi. Pembentukan awan-petir dan cas memerlukan arus udara, kelembapan dan julat suhu tertentu. Arus angin yang paras 4km dari bumi ialah 0 darjah celcius dan mencapai tahap -50 darjah celcius pada ketinggian 12km. Bagaimanapun, titisan air tidak mengalami sejuk-beku pada suhu -40 darjah celcius dan menghasilkan zarah pepejal yang mencorakkan ais hablur akan terhasil dan membesar. Maka julat suhu penyejuk-bekuan yang berkesan di awan sekitar -33 darjah celcius hingga -40 darjah celcius.

Titisan air yang terdapat dalam awan-petir di tiup ke atas oleh arus udara sehingga menjadi terdingin lampau di sepanjang julat ketinggian dan suhu itu. Dengan berlakunya pendingin lampau, hablur itu akan membesar hingga menjadi satu massa yang besar. Oleh kerana wujudnya daya graviti ke atas berat massa, maka massa itu digerakkan ke bawah. Gerakan ini akan menghasilkan komposisi awan-petir yang terdiri daripada titisan air yang terdingin lampau (bergerak ke atas) dan hujan batu yang mendak ke bawah. Ketika titisan air terdingin lampau bergerak ke atas mengakibatkan tindakan terhadap hujan batu yang sejuk berlaku. Titisan air mengalami sejuk beku yang separa, yakni bahagian kelompok luar titisan air. Mengalami sejuk beku yang separa, iaitu bahagian kelompok luar titisan air mengembang ke bahagian teras yang terkandung air (suhu air ini lebih panas sedikit).

Titisan air mengembang, oleh yang demikian berlaku keretakan dan penyemburan kelompong ais tersejuk beku. Serpihan yang terhasil bersaiz halus tertiu ke atas dengan bantuan arus udara dan akhirnya bahagian atas awan tersebut menjumlahkan cas positif.

Proses berolak ini boleh juga dinyatakan dengan mudah, iaitu kelembapan yang lampau-sejuk, berterbangan di angkasa bertindak dengan zarah mendakan yang menghasilkan butir-butir yang mempunyai dua kelompong. Keadaan lampau sejuk menyebabkan ion H^+ yang lebih ringan bergerak ke atas kelompong luaran dan ion OH^- yang mempunyai berat molekul yang lebih ringan dibandingkan dengan ion H^+ dan bahagian dalam OH^- . Seperti yang dinyatakan sebelum ini keretakan dan penyemburan kelompong ais tersejuk beku dan sentuhan kecil kelompong luaran yang terhasil akan dibawa oleh arus angin ke atas dan serpihan kecil bahagian dalam teras itu yang mendak di bahagian bawah awan akan membawa keseluruhan cas negatif.

2.2 Proses elektrifikasi awan

Awan komulus merupakan tempat kenaikan lapisan udara. Lapisan yag datang dari bumi ini mengandungi kelembapan yang bergantung pada kelembapan tanah. Semakin lapisan udara meningkat, ia semakin sejuk sehinggalah kelembapan relative mencapai 100% kelembapan udara. Ia dikenali sebagai kabus bila di permukaan bumi berikutan ia mengandungi titisan kecil air yang terapung di udara.

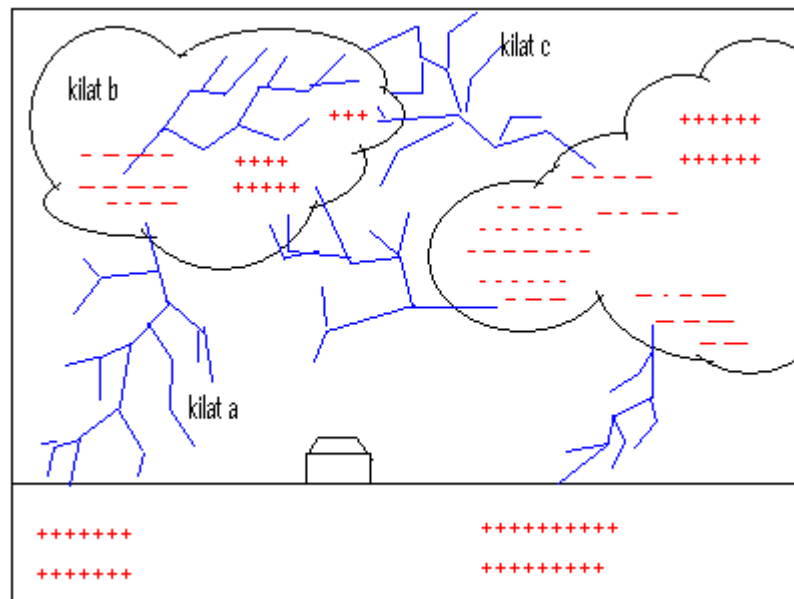
Apabila ketumpatan lapisan udara tersebut meningkat, ketinggian udara terwap juga meningkat. Titis-titis kecil ini akan bergabung membentuk titisan yang lebih besar. Apabila ia mencapai saiz tertentu dan cukup berat, titisan ini akan turun sebagai hujan.

Menurut teori, titisan yang jatuh dan berbentuk seperti titisan air mata ini membawa cas yang berbeza. Di bahagian titisan yang hampir dengan bumi adalah bercas negatif kerana bumi adalah bercas positif. Bahagian atas berpecah kepada titisan yang lebih kecil dan bercas positif. Ia akan naik ke atas semula dan bergabung dengan titisan lain untuk membentuk titisan yang lebih besar.

Sebaik sahaja titisan yang bercas negatif ini hampir dengan dasar awan, ia akan mencapai zon yang mempunyai ketumpatan yang paling tinggi. Cas-cas negatif akan terkumpul di dasar awan ini.

Cas positif akan terus naik ke atas dan akan tersebar di bahagian atas awan. Bahagian ini terletak berbatu-batu jauh dari bumi. Cas-cas ini kemudiannya akan mengecas semula bumi yang kehilangan cas positif berikutan terjadinya kilat.

2.3 Jenis-jenis kilat



Rajah 2.1 : Jenis-jenis kilat

2.3.1 Kilat awan ke bumi (kilat a)

Merupakan kilat yang paling bahaya dan paling banyak menyebabkan kerosakkan. Walaupun bukan merupakan kilat yang biasa namun kejadiannya paling mudah difahami. Kebanyakan kilat terhasil berhampiran pusat negatif yang terendah di awan dan menghantar cas negatif ke bumi. Walaubagaimanapun, terdapat sebahagian kilat membawa cas positif.

2.3.2 Kilat di dalam awan (kilat b)

Merupakan kilat yang biasa berlaku. Ia terjadi apabila terdapat cas berlawanan di pusat cas di dalam awan yang sama. Ia berlaku dalam awan namun ia boleh keluar dari awan tersebut dan wujud dalam jarak yang agak jauh membentuk kilat awan ke bumi.

2.3.3 Kilat antara awan (kilat c)

Ia berlaku di antara awan yang berlainan cas dengan pusat cas yang lain.

2.3.4 Kilat bumi ke awan

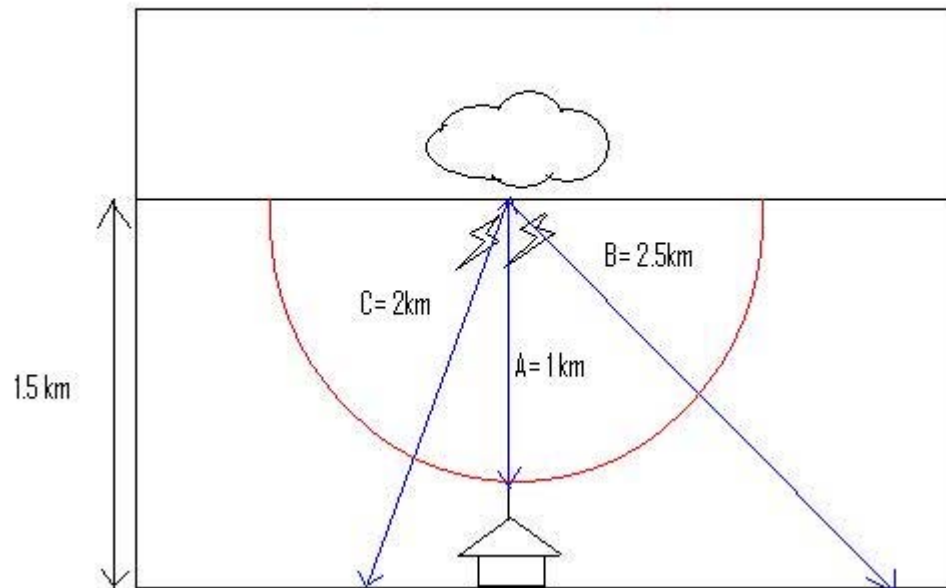
Kejadian ini boleh berlaku pada bangunan yang mempunyai ketinggian 700 kaki atau lebih. Dengan ketinggian bangunan tersebut, ia akan menjana discas kilat. Ia berlaku dengan memanah ke atas secara bercabang sama ada cas positif atau cas negatif. Dalam kebanyakan kejadian dinyatakan kilat tiada panahan balas, tetapi kilat jenis ini menghasilkan panahan balas dari awan ke bumi.

2.3.5 Jenis-jenis kilat yang lain

Terdapat pelbagai nama, bentuk dan penerangan bagi setiapnya. Jenis-jenis yang biasa ialah seperti Kilat Haba, Kilat Bola, Kilat Manik, Kilat Kepingan, Kilat Senyap, Kilat Gelap dan Kilat Reben.

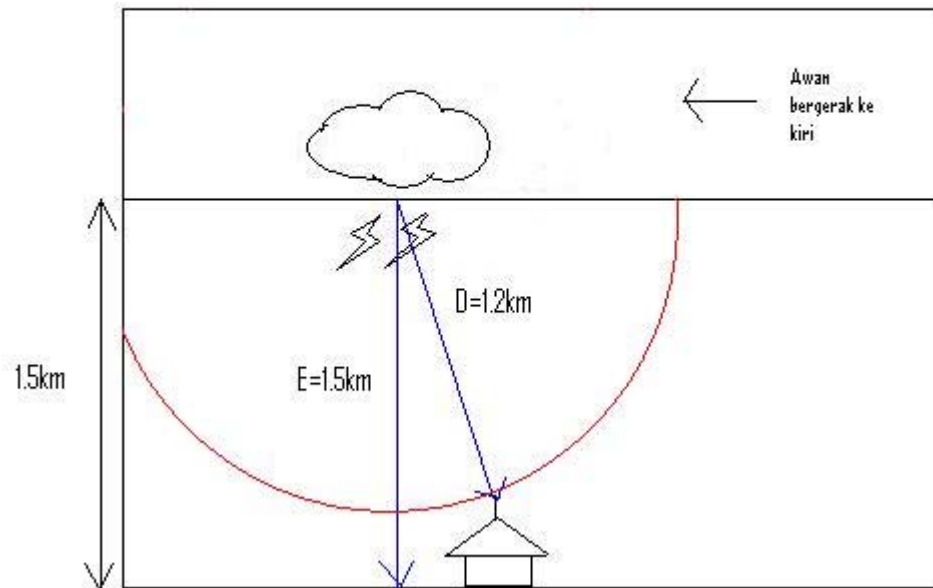
2.4 Teori sambaran kilat ke bumi

Awan yang membawa hujan adalah awan komulus. Awan ini berada 1.5 km dari permukaan bumi. Awan ini boleh menyebabkan kilat. Kilat yang terhasil akan meneutralkan cas pada awan itu. Ada di antara kilat akan menyambar awan lain yang berlainan cas dan ada juga yang akan menyambar bumi. Sambaran ke bumi ini akan terkena pada sistem perlindungan kilat ataupun ke tanah. Ini bergantung kepada mana satu daripadanya yang paling hampir dengan awan yang terdapatnya cas yang berlainan itu. Segala teori ini ada dinyatakan di dalam gambarajah di sebelah.



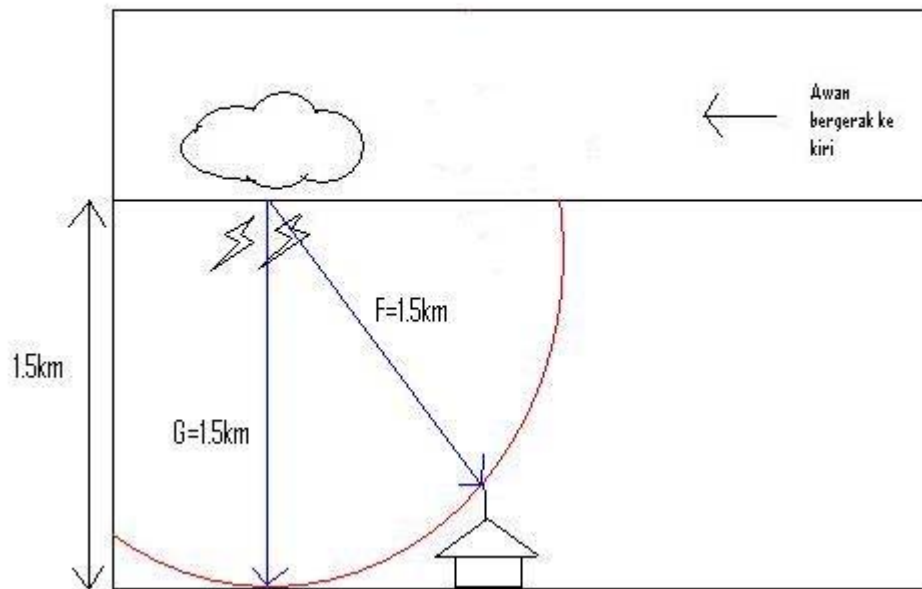
Rajah 2.2 a : Teori sambaran kilat

Dalam situasi ini, kilat akan menyambar sistem perlindungan petir yang dipasang di atas atap rumah. Ini adalah kerana jarak A iaitu 1 km adalah lebih kecil berbanding B dan C iaitu 2.5 km dan 2 km.



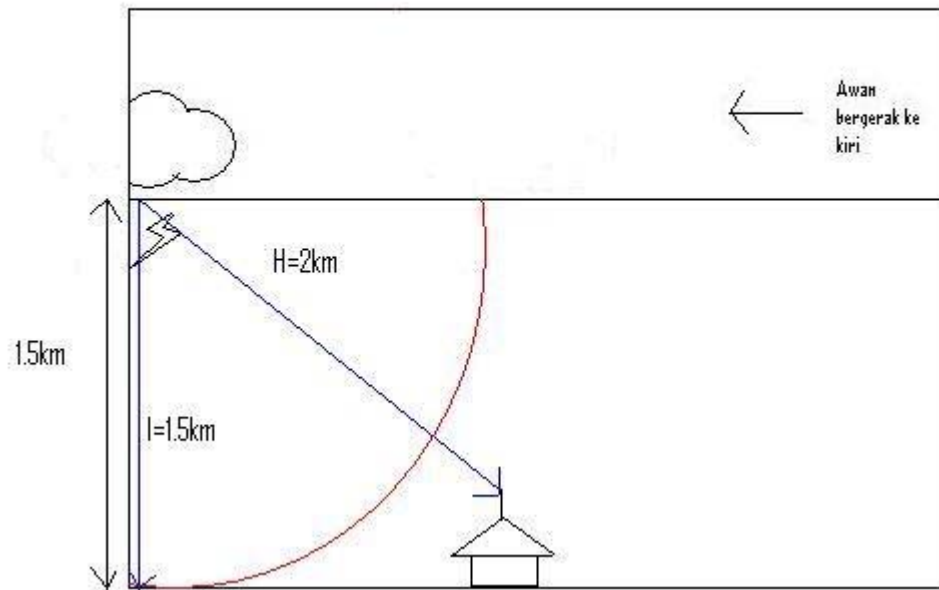
Rajah 2.2 b : Teori sambaran kilat

Dalam situasi ini pula, kilat masih lagi menyambar sistem perlindungan kilat rumah tersebut. Ini berlaku kerana jarak awan ke sistem perlindungan kilat itu masih lagi paling hampir berbanding jarang antara awan dengan permulaan tanah.



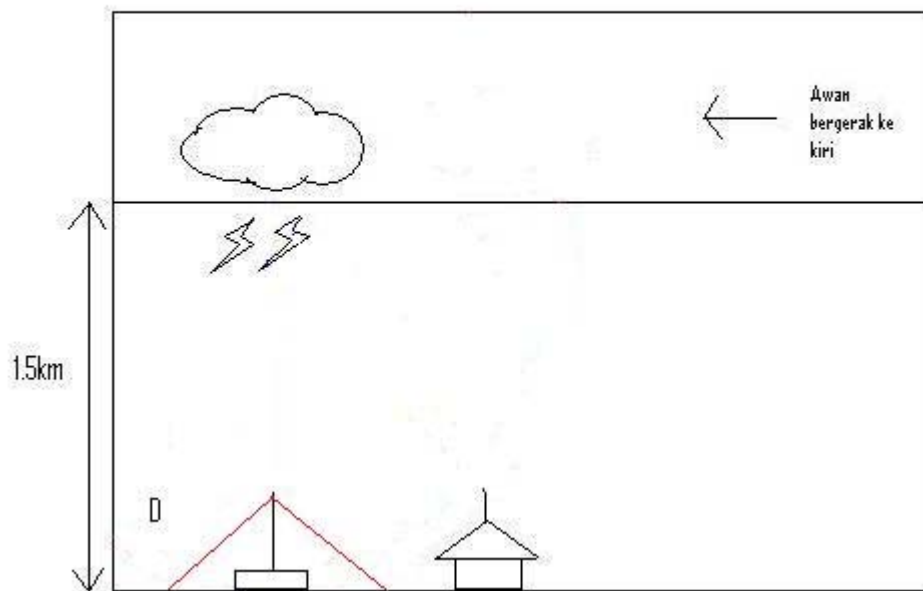
Rajah 2.2 c : Teori sambaran kilat

Dalam situasi ini, jarak F dan G adalah sama iaitu 1.5 km. Oleh itu, kilat berkemungkinan akan menyambar permukaan bumi dan rumah tersebut. Kedudukan permukaan bumi yang berisiko terkena sambaran kilat itu patut diletakkan satu sistem perlindungan kilat.



Rajah 2.2 d : Teori sambaran kilat

Kilat akan melalui laluan yang lebih dekat, maka laluan I adalah menjadi laluan kilat itu untuk meneutralkan cas. Nilai I adalah 1.5 km, manakala H pula ialah 2 km. nilai I kurang 0.5 km dari 2km. Oleh itu satu sistem perlindungan kilat mestilah dipasang di kedudukan sambaran kilat ke permukaan bumi itu. Jika tidak dipasang sistem perlindungan, maka ini boleh mengakibatkan kematian dan kerosakkan.



Rajah 2.2 e : Teori sambaran kilat

Ini adalah gambaran yang sewajarnya dicadangkan kerana pada kedudukan ini satu sistem perlindungan kilat perlulah diletakkan. D merupakan satu sistem perlindungan kilat jenis tiang. Pada kedudukan ini, tiang ini dapat melindungi kawasan lapang tersebut.

2.5 Konduktor Kilat

Konduktor mestilah mempunyai rintangan yang paling minimum untuk diseimbangkan dengan tenaga elektrik yang diterima. Konduktor ini juga mestilah diperbuat daripada bahan yang mempunyai impedan rendah. Adalah penting bagi kita untuk melengkapkan dua laluan arus ke bumi kecuali dalam kes kilat yang mempunyai magnitud kecil yang memancar ke bumbung rendah.

2.5.1 Jenis, kelas dan tujuan sesuatu konduktor

Semua konduktor yang digunakan dalam perlindungan kilat ialah kuprum atau aluminium. Konduktor ini terbahagi kepada tiga kelas iaitu:

2.4.1.1 Konduktor Primer Kelas 1 (Class 1 primary conductors)

2.4.1.2 Konduktor Primer Kelas 2 (Class 2 primary conductors)

2.4.1.3 Konduktor Sekunder (Secondary conductors)

Konduktor kelas 1 boleh digunakan pada sebarang struktur yang mempunyai ketinggian 75 kaki ke bawah, manakala konduktor kelas 2 digunakan untuk struktur yang mempunyai ketinggian lebih 75 kaki. Konduktor sekunder hanya digunakan untuk sambungan badan besi kedua ke sistem konduktor bangunan.

Konduktor kuprum kelas 2 yang disaluti plumbum di rajah 2.3 digunakan untuk struktur yang mempunyai ketinggian lebih 25 kaki. Konduktor kuprum mungkin panas (lead-coated) apabila digunakan setinggi 2 kaki dari bumbung. Manakala aluminium pula tidak panas (lead-coated) apabila diletakkan di tempat yang sama. Keterangan ini ditunjukkan dengan lebih jelas pada Rajah 2.4

Rajah 2.3 : Jenis-jenis konduktor

Rajah 2.4 : Penggunaan konduktor

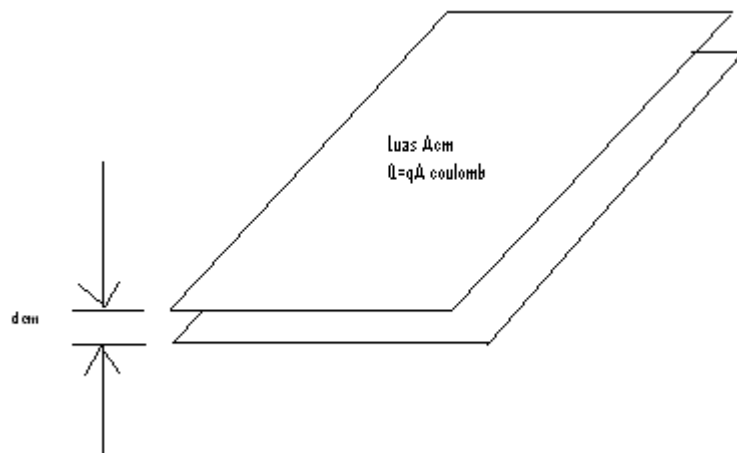
2.6 Pengukuran tahanan jenis tanah

2.6.1 Teori Pengetanahan Stesen Kuasa Utama

Kebumikan stesen kuasa utama mula dilakukan dengan menanamkan batang-batang konduktor di permukaan tanah secara vertical. Tetapi kemudian orang menggunakan sistem kebumi dengan menanamkan batang-batang konduktor sejajar dengan permukaan tanah atau secara horizontal dengan kedalaman beberapa puluh cm di bawah permukaan tanah. Perkara ini dilakukan terdapat sesetengah tempat yang berbatu sehingga elektrod kebumi tidak dapat ditanam lebih dalam. Setelah diselidiki dengan lebih lanjut, ternyata pengbumian dengan sistem penanaman horizontal dengan bentuk kekisi (grid) mempunyai keuntungan-keuntungan dibandingkan dengan pengbumian yang menggunakan batang-batang vertical. Sistem pengetanahan batang vertical masih banyak digunakan pada stesen kuasa utama dan juga merupakan teori dasar dari sistem pengbumian

Tujuan utama sistem pengbumian tersebut adalah untuk mendapatkan rintangan ke tanah yang cukup kecil. Untuk mengetahui sebanyak mana rintangan ke tanah dapat dikecilkan, kita mestilah mengetahui rumus-rumus rintangan bagi setiap jenis sistem pengbumian.

Contohnya dua plat konduktor dengan luas masing-masing $A \text{ cm}^2$ dengan muatan plat masing-masing q/cm^2 , jarak antara plat adalah $d \text{ cm}$. Sila rujuk Rajah 2.5



Rajah 2.5 : Konduktor plat

Jumlah garis fluks yang melalui dielektrik di antara kedua plat adalah $4 \pi q.A$ dan kuat medannya adalah $4 \pi q$. Maka voltan antara kedua plat, $V = 4 \pi qd$ volt, jumlah muatan Q adalah qA Coulomb.

Dari hubungan:

$$C = Q / V \quad (2.1)$$

Diperolehi,

$$1 / C = \frac{4 \pi q.d}{q.A} \quad (2.2)$$

$$1 / C = \frac{4 \pi d}{A} \quad (2.3)$$

Jika di antara kedua-dua plat diletakkan tanah dengan rintangan jenis ρ Ohm-cm maka rintangan antara plat adalah:

$$R = \frac{\rho d}{A} \quad (2.4)$$

Dari persamaan di atas,

$$d/A = \frac{1}{4 \pi C} \quad (2.5)$$

Oleh sebab itu rintangan akhir:

$$R = \rho / 4 \pi C \quad (2.6)$$

Di mana:

R = rintangan (ohm)

C = Kapasitans (farad)

P = rintangan jenis tanah (ohm-cm)

2.7 Faktor Rintangan Tanah

Terdapat lima jenis rintangan yang perlu diambil kira dalam mencapai kecekapan maksimum dalam proses mengbumikan arus kilat. Jenis-jenis tersebut ialah :

- a. Jenis tanah
- b. Kedalaman tanah
- c. Kelembapan tanah
- d. Suhu tanah
- e. Perubahan rintangan

2.7.1 Rintangan mengikut kelainan tanah

Terdapat 4 jenis kumpulan tanah yang dapat mempengaruhi rintangan dalam tanah. Jenis-jenis ini ada dinyatakan di dalam Jadual 2.1

Ujian Tanah	Jenis tanah	Rintangan (ohm)		
		Purata	Minimum	Maksimum
24	Tanah yang penuh dengan sampah yang berlainan	14	3.5	41
205	Tanah liat, batuan, batu jemur, tanah baja dan pasir baja tak berbatu	21	2.0	98
137	Tanah liat, batu jemur dan tanah baja campuran batu dan pasir	93	6.0	800
72	Pasir dan batuan	554	35	2700

Jadual 2.1 : Rintangan tanah mengikut jenis tanah

2.7.2 Rintangan tanah mengikut kedalaman tanah

Beberapa inci pertama tanah biasanya kering. Oleh itu kawasan ini mempunyai rintangan yang tertinggi. Rajah 2.6 menunjukkan rintangan tanah mengikut kedalaman tanah.

Rajah 2.6 : Rintangan tanah mengikut kedalaman tanah

2.7.3 Rintangan tanah mengikut kelembapan

Rajah 2.7 menunjukkan rintangan tanah yang dipengaruhi oleh kelembapan. Tanah liat merah adalah antara jenis tanah yang paling konduktif. Rintangan mencapai 400,000 ohm apabila kelembapan di bawah 10% dan rintangan akan jatuh ke 20,000 ohm pada 15% kelembapan.

Rajah 2.7 : Rintangan tanah mengikut kelembapan tanah

2.7.4 Rintangan tanah yang dipengaruhi oleh suhu

Jika musim kilat jatuh pada tempoh panas yang sederhana, ia dikatakan bernasib baik. Cuaca sejuk boleh mempengaruhi rintangan di dalam tanah. Untuk rujukan, Rajah 2.8 ada diberikan untuk melihat bagaimana cuaca juga mempengaruhi rintangan dalam tanah.

Rajah 2.8 : Rintangan tanah mengikut suhu

2.7.5 Akibat dari perubahan rintangan

Apabila arus kilat sampai ke bumi dan melalui konduktor, rintangan akan berubah antara konduktor dan permukaan bumi. Rintangan ini akan berterusan dan boleh divisualkan sebagai siri pelindung yang bertambah saiznya dari elektrod. Rintangan yang berkurangan sehinggalah kawasan bumi menerima jumlah arus yang sudah memadai

Rajah 2.9 ada disediakan untuk rujukan.

Rajah 2.9 : Perubahan dalam tanah

2.8 Bahaya-bahaya yang timbul

Secara umum kita tinjau dahulu bahaya-bahaya pada stesen kuasa utama pada keadaan gangguan tanah yang mungkin dapat ditimbulkan oleh voltan atau arus elektrik terhadap manusia mulai dari yang ringan sampai yang paling berat iaitu terkejut, pengsan atau mati.

Ringan atau berat bahaya yang timbul, tergantung dari faktor-faktor di bawah ini :

1. Voltan dan kondisi orang terhadap voltan tersebut
2. Besarnya arus yang melalui tubuh manusia
3. Jenis arus, arus terus atau arus ulang alik

2.8.1 Voltan

Pada sistem, voltan tinggi sering mengakibatkan kecelakaan terhadap manusia secara langsung atau secara manusia yang berada di dalam suatu daerah yang mempunyai gradien voltan yang tinggi. Tetapi seperti yang telah diberitahu, akibat sebenar kejadian ini adalah dari arus yang mengalir dalam tubuh manusia.

Khususnya pada stesen kuasa utama kemungkinan terjadinya bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir ke tanah. Arus gangguan ini akan mengalir pada bahagian-bahagian peralatan yang diperbuat dari besi dan juga mengalir dalam tanah di sekitar stesen kuasa utama. Arus gangguan tersebut menimbulkan gradien voltan di antara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan juga gradien voltan pada permukaan tanah itu sendiri.