



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH KORONA TERHADAP DISTORSI
HARMONIK GELOMBANG TEGANGAN PADA KUBIKEL**

SKRIPSI

**NADIR M. ALJAIDI
0606074174**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK, JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH KORONA TERHADAP DISTORSI
HARMONIK GELOMBANG TEGANGAN PADA KUBIKEL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

**Nadir M. Aljaidi
0606074174**

**Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Teknik Elektro
Depok, Juni 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Nadir M. Aljaidi

NPM : 0606074174

Tanda Tangan :

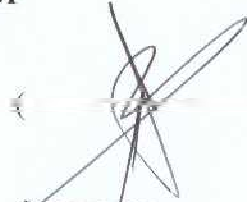


Tanggal : 8 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Nadir M. Aljaidi
NPM : 0606074174
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Korona Terhadap Distorsi
Harmonik Gelombang Tegangan Pada Kubikel

~~Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia~~

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Budi Sudiarto, ST., MT. ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M K MT. ()
Penguji : Aji Nur Widyanto, ST., MT. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur Saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku skripsi ini. Saya menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan dengan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan kepada Saya untuk menyelesaikan buku skripsi ini;
2. Budi Sudiarto ST, MT selaku pembimbing skripsi saya;
3. Orang tua yang selalu mendoakan dan memberikan segalanya yang dibutuhkan untuk anaknya ini;
4. Pak sudarman, Faiz Husnayain, Ricky, dan Wilman yang cukup membantu dalam penyelesaian skripsi ini;
5. Segenap sahabat yang telah mendoakan dan selalu memberikan semangat;
6. Seluruh keluarga besar Civitas Akademika Fakultas Teknik Universitas Indonesia khususnya karyawan Departemen Teknik Elektro yang telah banyak memberikan bantuan dalam urusan administrasi skripsi.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga buku skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 8 juni 2010

Nadir M. Aljaidi

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Indonesia, saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nadir M. Aljaidi
NPM : 0606074174
Program studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Nonokklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISA PENGARUH KORONA TERHADAP DISTORSI HARMONIK GELOMBANG TEGANGAN PADA KUBIKEL

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta sebagai pemegang Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Diselesaikan di : Depok

Pada tanggal : 8 Juni 2010

Yang menyatakan

Nadir M. Aljaidi

ABSTRAK

Nama : Nadir M. Aljaidi
Program Studi : elektro
Judul : Analisa Pengaruh Korona Terhadap Distorsi Harmonik Gelombang Tegangan Pada Kubikel

Korona merupakan salah satu fenomena yang diakibatkan oleh penerapan tegangan tinggi arus bolak – balik pada sistem tenaga listrik. Fenomena korona biasanya terjadi pada saluran transmisi, gardu induk, dan gardu distribusi. Fenomena korona menimbulkan beberapa masalah pada sistem tenaga listrik, salah satunya yaitu menyebabkan kenaikan distorsi harmonik dari gelombang tegangan. Untuk itu dilakukan pengujian pada kubikel dengan melihat perubahan nilai dari distorsi harmonik total (THD) gelombang tegangan. Dari pengujian tersebut didapatkan bahwa nilai dari THD semakin meningkat saat terjadi korona. Peningkatan nilai THD ini disebabkan oleh peningkatan distorsi harmonik orde 9. Nilai THD ini juga dipengaruhi oleh diameter kawat penghantar serta jarak antar kawat penghantar dengan kubikel.

Kata kunci: korona, tegangan tinggi, distorsi harmonik, distorsi harmonik total(THD)

ABSTRACT

Name : Nadir M. Aljaidi
Study Program : electrical Engineering
Title : Corona Effect Analysis of Harmonic Distortion Voltage Waves at
The Cubicle.

Corona is phenomenon which caused by AC High voltage applications on electric power system. Corona phenomenon mostly developed in transmission lines, substations, and distribution substation. Corona phenomenon presence many problems on electric power system, one of the effect is increase harmonic distortion of voltage wave. For it was examined by observing changes in the value of total harmonic distortion of the voltage wave. From these tests, it was found that the value of THD increases during corona. The increasing value of THD is caused by an increase in 9th order harmonic distortion. The THD is also influenced by diameter of the wire and distance between the wire and cubicles.

Keywords: corona, high voltage, harmonic distortion, total harmonic distortion(THD)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Metodologi Penulisan	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 KORONA DAN HARMONIK.....	4
2.1 Proses Ionisasi.....	4
2.1.1 Ionisasi karena tumbukan elektron	4
2.1.2 Ionisasi Termal.....	5
2.1.3 Ionisasi Emisi Nuklir	6
2.1.4 Fotoionisasi	6
2.1.5 Ionisasi Medan Listrik	8
2.2 Fenomena Korona	8
2.2.1 Cahaya Ungu.....	9
2.2.2 Suara Bising.....	13
2.2.3 Ozon (O ₃)	13
2.3 Mekanisme Pelepasan Korona	14
2.3.1 Korona Positif	16
2.3.2 Korona Negatif.....	18
2.4 Faktor yang Memengaruhi Korona	19
2.4.1 Atmosfer.....	20
2.4.2 Kerapatan Udara.....	21
2.4.3 Ukuran dan Bentuk Permukaan Konduktor	22
2.4.4 Jarak antar Konduktor	23
2.4.5 Tegangan Saluran.....	23
2.5 Akibat yang Ditimbulkan Korona.....	24
2.5.1 Interferensi Radio.....	24
2.5.2 Degradasi dan Kerusakan Material dan Peralatan Listrik.....	24
2.5.3 Rugi Daya Korona.....	25
2.6 Harmonik	26

2.6.1 Orde dan Spektrum Harmonik	27
2.6.2 <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD).....	28
2.6.3 Sumber dan Efek Harmonik pada Jaringan Tenaga Listrik	29
BAB 3 METODE DAN PROSEDUR PENGUJIAN	31
3.1 Metode Pengujian.....	31
3.2 Peralatan Pengujian.....	32
3.3 Prosedur Pengujian	33
BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA	35
4.1 Pengujian Kawat Penghantar Berdiameter 4 mm	35
4.1.1 Jarak 4 cm	36
4.1.2 Jarak 6 cm	38
4.1.3 Jarak 8 cm	41
4.1.4 Jarak 10 cm	43
4.2 Pengujian Kawat Penghantar Berdiameter 8 mm	46
4.2.1 Jarak 4 cm	46
4.2.2 Jarak 6 cm	49
4.2.3 Jarak 8 cm	51
4.2.4 Jarak 10 cm	54
4.3 Pengujian Kawat Penghantar Berdiameter 15 mm	57
4.3.1 Jarak 4 cm	57
4.3.2 Jarak 6 cm	59
4.3.3 Jarak 8 cm	62
4.3.4 Jarak 10 cm	65
4.4 Analisa Hasil Pengujian	67
4.5 Analisa Pengaruh Perbedaan Jarak Antar Kawat Penghantar Dengan Kubikel Terhadap Besar THD yang Dihasilkan	69
4.5.1 Kawat Berdiameter 4 mm	69
4.5.2 Kawat Berdiameter 8 mm	70
4.5.3 Kawat Berdiameter 15 mm	71
4.6 Analisa Pengaruh Perbedaan Diameter Kawat Terhadap Besar THD yang Dihasilkan	72
4.6.1 Jarak 4 cm	72
4.6.2 Jarak 6 cm	73
4.6.3 Jarak 8 cm	74
4.6.4 Jarak 10 cm	75
BAB 5 KESIMPULAN	76
DAFTAR REFERENSI	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor permukaan kawat.....	23
Tabel 4.1 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm jarak 4 cm	36
Tabel 4.2 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm jarak 6 cm	38
Tabel 4.3 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm jarak 8 cm	41
Tabel 4.4 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm jarak 10 cm	44
Tabel 4.5 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm jarak 4 cm	47
Tabel 4.6 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm jarak 6 cm	49
Tabel 4.7 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm jarak 8 cm	52
Tabel 4.8 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm jarak 10 cm	54
Tabel 4.9 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm jarak 4 cm	57
Tabel 4.10 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm jarak 6 cm	60
Tabel 4.11 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm jarak 8 cm	63
Tabel 4.12 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm jarak 10 cm	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ultraprobe alat pendeteksi suara korona	13
Gambar 2.2	Distorsi harmonik Orde 3	26
Gambar 2.3	Distorsi harmonik Berorde Banyak.....	26
Gambar 2.4	Spektrum Harmonik	28
Gambar 3.1	Rangkaian pembangkit tegangan tinggi bolak - balik.....	31
Gambar 3.2	HIOKI 3169-20	32
Gambar 3.3	Rangkaian Pengujian.....	33
Gambar 4.1	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm jarak 4 cm	37
Gambar 4.2	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm jarak 6 cm	40
Gambar 4.3	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm jarak 8 cm	42
Gambar 4.4	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm jarak 10 cm	45
Gambar 4.5	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm jarak 4 cm	48
Gambar 4.6	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm jarak 6 cm	50
Gambar 4.7	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm jarak 8 cm	53
Gambar 4.8	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm jarak 10 cm	56
Gambar 4.9	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm jarak 4 cm	58
Gambar 4.10	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm jarak 6 cm	61
Gambar 4.11	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm jarak 8 cm	63
Gambar 4.12	Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm jarak 10 cm	66
Gambar 4.13	Pengaruh jarak terhadap THD pada kawat berdiameter 4 mm	70
Gambar 4.14	Pengaruh jarak terhadap THD pada kawat berdiameter 8 mm	71
Gambar 4.15	Pengaruh jarak terhadap THD pada kawat berdiameter 15 mm	72
Gambar 4.16	Pengaruh diameter terhadap THD dengan jarak celah 4 cm	73
Gambar 4.17	Pengaruh diameter terhadap THD dengan jarak celah 6 cm	74
Gambar 4.18	Pengaruh diameter terhadap THD dengan jarak celah 8 cm	75
Gambar 4.19	Pengaruh diameter terhadap THD dengan jarak celah 10 cm	76

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu pembangkit listrik biasanya dibangun jauh dari permukiman penduduk, hal ini bertujuan agar penduduk tidak terkena dampak negatif akibat polusi yang dihasilkan. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem pengiriman daya listrik jarak jauh kepada konsumen listrik, sistem ini disebut sistem transmisi. Untuk menyalurkan energi listrik kepada konsumen yang jaraknya jauh ini, tegangan yang dihasilkan dari generator pembangkit listrik perlu dinaikkan mencapai ratusan ribu Volt atau disebut tegangan ekstra tinggi. Penggunaan tegangan ekstra tinggi yang mencapai ratusan ribu Volt tersebut bertujuan untuk mengurangi rugi – rugi daya pada saluran transmisi. Hal ini dikarenakan saluran transmisi sangat panjang (ratusan sampai ribuan kilometer), maka rugi – rugi daya akibat saluran pun sangat besar. Namun akibat penggunaan tegangan ekstra tinggi ini menimbulkan beberapa persoalan baru yaitu persoalan isolasi kawat, persoalan isolasi peralatan, dan gejala korona.

Dalam skripsi ini persoalan isolasi kawat dan persoalan isolasi peralatan tidak dibahas lebih lanjut. Penulis hanya memfokuskan pada gejala korona. Gejala korona dapat terjadi pada saluran transmisi, gardu induk, dan gardu distribusi yang memiliki medan listrik yang tinggi. Gejala korona yang timbul akibat adanya medan listrik yang tinggi menyebabkan beberapa masalah yang mengganggu lingkungan sekitar, diantaranya interferensi radio, interferensi televisi dan suara bising. Sementara pada kubikel dapat menyebabkan kegagalan isolasi yang bisa mengakibatkan kubikel terbakar. Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui saat awal terjadinya korona, sehingga dapat melakukan tindakan pencegahan sebelum terjadi kegagalan. Pada sistem tenaga listrik, korona juga dapat mengakibatkan rugi – rugi daya dan distorsi gelombang akibat adanya harmonik.

Harmonik merupakan suatu masalah dalam kualitas daya listrik, karena mengakibatkan adanya distorsi gelombang sehingga bentuk gelombang menjadi tidak

sinusoidal. Harmonik merupakan gejala pembentukan gelombang dengan frekuensi yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Gelombang harmonik ini menumpang atau termodulasi dengan gelombang dasarnya sehingga dihasilkan gelombang yang terdistorsi. Hal ini menyebabkan bentuk gelombang tegangan atau arus yang terdistorsi menjadi tidak sinusoidal. Sumber harmonik itu sendiri dapat berupa beban non-linear dan peralatan elektronika daya. Pada tegangan tinggi sumber harmonik dapat berupa gejala – gejala lain pada tegangan tinggi tersebut, salah satunya yaitu korona.

Pada skripsi ini dibahas pengaruh korona pada kubikel dengan melihat perubahan distorsi harmonik total (THD) tegangan dan distorsi harmonik (HD) tegangan pada setiap orde, Sehingga dapat dilihat pengaruh korona tersebut terhadap distorsi harmonik.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini yaitu untuk mengetahui karakteristik perubahan nilai dari distorsi harmonik akibat korona dengan melihat perubahan dari nilai Distorsi harmonik total (THD) dan distorsi harmonik pada setiap ordenya. Hal ini dilakukan dengan pengukuran distorsi harmonik gelombang tegangan pada tegangan tinggi dengan model kubikel.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada skripsi ini masalah hanya dibatasi mengenai bagaimana karakteristik perubahan dari distorsi harmonik gelombang tegangan yang dihasilkan saat sebelum korona dan saat korona terjadi. Karakteristik distorsi harmonik yang dibandingkan yaitu berupa nilai dari distorsi harmonik total (THD) dan distorsi harmonik pada orde – orde yang memiliki nilai yang cukup signifikan yaitu orde 3, orde 5, orde 7, orde 9, dan orde 11.

1.4 Metodologi Penulisan

Penulisan skripsi ini diawali dengan pengukuran besar distorsi harmonik total (THD) dan distorsi harmonik (HD) tiap orde 1,2,3,...,40. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat HIOKI *power quality analyzer*. Pengukuran dilakukan dengan variasi jarak konduktor ke kubikel (4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm) dan variasi diameter konduktor (4 mm, 8 mm, dan 15 mm). Kemudian dilakukan pengolahan data berupa nilai dari distorsi harmonik total dan distorsi harmonik pada orde 3, orde 5, orde 7, orde 9, dan orde 11.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab. Bab 1 merupakan pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang, tujuan penulisan, Batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan. Bab 2 merupakan landasan teori mengenai korona dan harmonik. Bab 3 merupakan metode dan prosedur pengujian yang menjelaskan cara pengambilan data dan cara pengujian di laboratorium. Bab 4 merupakan data hasil pengujian disertai dengan analisis. Bab 5 merupakan kesimpulan dari skripsi ini.

BAB 2

KORONA DAN HARMONIK

2.1 Proses Ionisasi

Fenomena korona terjadi pada sistem bertegangan tinggi, misal saluran transmisi, gardu induk, dan gardu distribusi. Sebelum terjadi proses kegagalan isolasi, biasanya terjadi gejala korona terlebih dahulu. Itu sebabnya korona disebut sebagai pelepasan sebagian atau *partial discharge*. Ini karena pada saat terjadi korona hanya menimbulkan cahaya dan bunyi, namun tidak terdapat adanya percikan listrik ataupun lompatan listrik. Proses kegagalan udara (*discharge*) dan korona (*partial discharge*) merupakan proses yang terjadi akibat adanya ionisasi udara.^[8]

Terjadinya korona diakibatkan adanya ionisasi udara disekeliling konduktor daya, yaitu adanya kehilangan elektron dari molekul udara. Akibat radioaktif dan sinar kosmik, elektron bebas biasanya hadir dalam ruang bebas.^[1] Ketika beda potensial antara dua konduktor ditingkatkan, gradien disekitar permukaan konduktor juga meningkat (dengan asumsi jarak antar konduktor lebih besar dibandingkan diameter konduktor). Elektron bebas akan berpindah dengan kecepatan tertentu tergantung dari kuat medan listrik disekitarnya. Elektron – elektron ini akan bertubrukan dengan molekul udara, jika kecepatan terus meningkat akan melepaskan elektron dari molekulnya, sehingga jumlah elektron terus bertambah, Proses ini terjadi terus menerus sampai terjadi sampai terjadi longoran elektron (*avalanche*). Kemudian terjadilah ionisasi udara disekeliling konduktor tersebut. Ada beberapa metode ionisasi di udara.

2.1.1 Ionisasi Tumbukan Elektron

Ketika suatu atom ditabrak oleh suatu elektron, atom tersebut dapat kehilangan atau memperoleh sebuah muatan tergantung dari jumlah energi yang dipindahkan dalam tumbukan tersebut. Energi ini harus melebihi energi ionisasi E_i (satuan eV, dimana e merupakan nilai dari muatan satu elektron yaitu 1.6×10^{-19} Coulombs).^[6] Akibat dari tumbukan elektron, elektron dapat diserap oleh atom

atau atom tersebut kehilangan elektron atau hanya merangsang elektron valensi dari atom tersebut. Suatu sumber elektron dibutuhkan untuk menghasilkan cukup elektron untuk mengionisasi udara dan menahan elektron tersebut agar tumbukan berlangsung cukup lama untuk menyebabkan ionisasi. Kecepatan Elektron seharusnya dipercepat dengan medan listrik atau medan magnet. Pelepasan elektron pada proses ionisasi dapat menghasilkan ionisasi kedua jika energinya cukup besar. Efektifitas ionisasi karena tumbukan ini ditentukan oleh energi dalam tumbukan dan kecepatan elektron yang menumbuk, dengan besar kecepatan elektron dirumuskan sesuai persamaan (2.1).

$$= \frac{\text{---}}{2} \quad (2.1)$$

dengan,

e = muatan elektron (1.6×10^{-19} Coulombs)

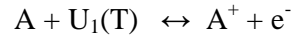
V = besar tegangan yang diterapkan (Volt)

m_e = massa elektron (9.11×10^{-31} kg)

Kecepatan elektron bebas tersebut haruslah optimum, yaitu suatu kecepatan yang tepat dimana kebolehjadian terjadinya tumbukan yang mengakibatkan penguraian atom menjadi elektron dan ion baru adalah maksimum. Dalam proses ionisasi dikenal kebolehjadian ionisasi yang didefinisikan sebagai jumlah pasangan ion yang dapat dibebaskan oleh sebuah elektron yang bergerak sepanjang lintasan 1 cm dalam gas bertekanan 1 mmHg.^[8]

2.1.2 Ionisasi Termal

Jika suatu gas dipanaskan sampai suhu yang cukup tinggi, maka energi dalam gas juga akan meningkat cukup tinggi untuk bisa mengakibatkan ionisasi dalam medium gas tersebut. Pemanasan sampai suhu cukup tinggi akan mengakibatkan banyak atom netral memperoleh energi yang dibutuhkan untuk mengionisasikan atom – atom yang ditumbuknya. Menurut Saha hal ini dapat dituliskan dalam persamaan reaksi sebagai berikut.



Dimana,

$U_1(T)$ = energi kalor (joule)

A = molekul atau atom gas awal

A^+ = molekul atau atom yang kehilangan satu elektron

e^- = elektron bebas akibat ionisasi

Ionisasi termal atau ionisasi karena panas ini merupakan ionisasi akibat tumbukan antar atom atau molekul gas yang bergerak dengan kecepatan tinggi akibat suhu yang cukup tinggi. Ionisasi termal ini tentu saja sangat dipengaruhi temperatur dari udara, kondisi cuaca, dan kelembaban.

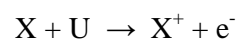
2.1.3 Ionisasi akibat Emisi Nuklir

Ion merupakan partikel yang lebih berat dibandingkan elektron, untuk itu diperlukan energi lebih untuk memberikan percepatan agar terjadi ionisasi. Dalam sekumpulan elektron, ion dapat saja diberi percepatan agar menubruk atom atau molekul, kemudian mengakibatkan ionisasi. Ini dapat dilakukan dengan sebuah alat yang mempercepat partikel atau dengan cara memberikan medan listrik dan medan magnet yang sangat kuat. Reaksi nuklir memancarkan ion yang mempunyai energi tinggi dan dapat digunakan dalam ionisasi gas.

Reaksi fusi meliputi ion H^+ dan He^+ dengan energi yang tinggi mencapai MeV. Reaksi fisi dari atom yang lebih berat melepaskan ion dengan energi tinggi yang dapat menyebabkan ionisasi kedua. Namun metode ionisasi ini tidak dapat diterapkan dalam laboratorium skala kecil.

2.1.4 Fotoionisasi

Suatu atom dapat terionisasi akibat dari tumbukan suatu foton jika energi foton melebihi atau sama dengan energi ionisasi atom. Dengan demikian atom netral dalam udara akan terionisasi dan melepaskan elektron.



Dimana,

- X = atom netral
 X^+ = atom yang kehilangan satu elektron
 e^- = elektron bebas akibat ionisasi
 U = energi foton (joule)

agar fotoionisasi dapat terjadi,

$$U \geq eV_i \quad (V_i \text{ potensial ionisasi}) \quad (2.2)$$

Energi foton sendiri merupakan energi yang berasal dari cahaya, besar energi foton dirumuskan dalam persamaan (2.3).

$$U = h.f \quad (2.3)$$

Dimana,

- h = konstanta Planck ($6,63 \times 10^{-34}$ joule)
 f = frekuensi (Hz)

maka,

$$h.f \geq eV_i \quad (2.4)$$

dengan,

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.5)$$

$$\lambda \leq \frac{c_o \times h}{eV_i} \quad (2.6)$$

Dengan panjang gelombang kuantum cahaya yang sangat pendek, akan dihasilkan kecepatan kuantum yang semakin besar, sehingga dapat memungkinkan terjadinya fotoionisasi dalam udara. Besarnya kuantum cahaya akan menghasilkan energi foton yang besar. Apabila energi foton yang dihasilkan lebih rendah dari eV_i , maka energi yang dihasilkan akan diserap atom untuk bergerak ke tingkat level yang lebih tinggi. Ini dikenal sebagai fotoeksitasi. Oleh

karena itu, kemungkinan terjadinya fotoionisasi dalam udara akan berpeluang maksimum jika $(h.f - eV_i)$ bernilai kecil, yaitu antara 0,1 eV sampai 1 eV.^[8]

2.1.5 Ionisasi Medan Listrik

Metode ionisasi ini meliputi cara melewati udara diantara konduktor terionisasi. Ketika suatu atom atau molekul bersentuhan dengan permukaan dari suatu konduktor logam, atom atau molekul tersebut akan kehilangan atau mendapatkan muatan positif atau negatif tergantung dari polaritas dari konduktor yang disentuhnya. Namun, kerapatan medan listrik harus setinggi beberapa kV/m agar terjadi ionisasi. Ukuran atau diameter dari konduktor juga penting dalam ionisasi medan listrik, medan listrik disekitar konduktor tajam dengan jari – jari kelengkungan rendah lebih kuat dibandingkan konduktor tumpul dengan diameter lebih besar. Jika kuat medan listrik ditingkatkan, maka partikel yang mendekati konduktor akan terionisasi sebelum mencapainya. Tingkat ionisasi akan turun dengan berkurangnya kuat medan listrik. Dengan demikian pada tekanan dan kecepatan udara yang lebih tinggi dibutuhkan kuat medan listrik yang semakin besar.

Ketika kuat medan listrik meningkat melebihi tegangan kegagalan udara, maka akan terjadi pelepasan busur api (*arc discharge*). Saat pelepasan busur api akan menghasilkan arus yang tinggi, yang mengalir melalui udara diantara kedua konduktor. Arus tinggi ini menyebabkan kehilangan daya yang besar dalam bentuk panas dan suara ledakan keras. Metode ini dapat menghasilkan ion konsentrasi tinggi dan ion bermuatan tinggi (2+, 3+, 4+, atau lebih besar). Namun metode ini tidak baik karena menghasilkan pemanasan pada konduktor dan kehilangan energi yang tinggi.

2.2 Fenomena Korona

Korona terjadi ketika diberikan tegangan bolak – balik antara dua konduktor, dimana jarak antara dua konduktor tersebut lebih besar dibandingkan diameter dari konduktor tersebut. Kemudian terdapat tekanan elektrostatis yang terdapat dalam atmosfer udara disekeliling konduktor – konduktor tersebut.^[1] Terjadinya korona dipengaruhi oleh besar tegangan yang diberikan pada

konduktor tersebut. Jika tegangan yang diberikan rendah, maka tidak akan ada perubahan dalam kondisi udara, akan tetapi ketika tegangan dinaikkan secara bertahap, mula – mula akan terlihat samar – samar cahaya terang disekeliling konduktor dan suara mendesis. Fenomena ini dinamakan *Visual corona*, hal ini juga disertai dengan dihasilkannya ozon (O_3), yang terdeteksi dari baunya. Cahaya yang terlihat tersebut berwarna ungu muda, cahaya yang ada merupakan udara yang telah mengalami kegagalan dan menjadi penghantar sementara akibat tekanan elektrostatis yang tinggi. Intensitas cahaya akan maksimum jika permukaan konduktor kasar dan kotor. Suara mendesis terjadi akibat tumbukan elektron. Akibat penumbukan elektron yang terus – menerus kedudukan elektron akan berubah dari orbitnya, elektron akan berpindah ke orbit yang tingkatnya lebih tinggi. Ketika elektron kembali ketingkat orbit semula yang lebih dalam maka terjadi pelepasan energi berupa radiasi dari gelombang elektromagnetik berupa suara desis. Dengan terus – menerus meningkatkan tegangan maka akan meningkatkan intensitas cahaya dan suara, jika kenaikan tegangan ini mencapai batas tertentu akan terjadi lompatan api atau *sparkover*. Fenomena terlihatnya cahaya berwarna ungu dan adanya suara mendesis serta dihasilkannya gas ozon (O_3) ini dikenal sebagai korona. Pada saat terjadi korona terjadi kenaikan temperatur, ini menunjukkan bahwa korona juga menghasilkan panas. Dalam keadaan lembab korona menghasilkan asam nitrat yang dapat menyebabkan korosi pada kawat.

2.2.1 Cahaya Ungu

Salah satu gejala terbentuknya korona yaitu terlihatnya samar – samar cahaya berwarna ungu disekeliling permukaan konduktor. Cahaya berwarna ungu ini berasal dari pengaruh tekanan elektrostatis yang berlebihan akibat dari gradien potensial yang tinggi. Besarnya gradien potensial ini dipengaruhi oleh tegangan yang diberikan. Pada saat awal korona terjadi, cahaya ini belum terlihat. Agar cahaya ini terlihat diperlukan ionisasi lebih banyak lagi sehingga gradien permukaan meningkat dan mencapai nilai g_v . Tegangan yang dibutuhkan agar gradien tegangan permukaan mencapai nilai g_v disebut *critical visual voltage*.

Critical visual voltage merupakan tegangan fasa ke netral minimal yang dibutuhkan dimana cahaya mulai tampak dan dapat dilihat disekitar konduktor.^[2]

$$V_v = m_v \cdot \delta \cdot g_v \cdot r \cdot \ln \frac{D}{r} \quad \text{kV/fasa} \quad (2.7)$$

dimana,

V_v = tegangan awal korona (kV/fasa)

δ = faktor kerapatan udara = 1 (tekanan 76 cmHg dan suhu 25° C)

$$\delta = \frac{3,92}{273 + t} \quad (2.8)$$

g_v = gradien permukaan (kV/cm)

$$g_v = 1 + \frac{0,3}{\sqrt{r}} \quad (2.9)$$

m_v = faktor permukaan kawat

b = tekanan (mmHg)

t = suhu (°C)

r = jari – jari konduktor (cm)

D = jarak antar pusat konduktor (cm)

Cahaya ini berasal dari proses rekombinasi antara ion nitrogen dengan elektron bebas. Korona dalam bentuk cahaya ini dibagi menjadi tiga jenis yaitu pelepasan berbentuk plum, pelepasan berbentuk sikat, dan pelepasan berbentuk pemancaran. Ketiga jenis pelepasan cahaya ini terjadi pada permukaan konduktor tegangan tinggi. Pelepasan berbentuk plum dan pelepasan berbentuk sikat merupakan bentuk cahaya yang muncul akibat polaritas korona yang terjadi.

Pelepasan berbentuk plum adalah bentuk pelepasan dengan bentuk cahaya yang muncul menyerupai buah plum (kismis). Jika dilihat dalam kondisi gelap maka cahaya tersebut akan memiliki bentuk yang terkonsentrasi pada permukaan penghantar. Konsentrasi cahaya ini mungkin terletak dimana saja di sepanjang konduktor. Bentuk cahaya ini memiliki panjang dan lebar yang besarnya tergantung terhadap tegangan yang diberikan. Bentuk cahaya ini hanya akan

timbul pada permukaan ketika tegangan yang diterapkan sedang berada pada setengah siklus positif. Ketika kuat medan listrik disekitar dekat konduktor mencapai nilai kritisnya maka elektron bebas yang terdapat pada permukaan konduktor akan mengalami percepatan sehingga cukup untuk melakukan ionisasi. Kemudian elektron bebas tersebut akan memulai terjadinya tumbukan elektron. Elektron bebas yang dihasilkan akan semakin banyak, lalu elektron – elektron ini akan bergerak menuju permukaan konduktor dan mengalami benturan lainnya. Proses ini terjadi pada setengah siklus positif sehingga ion positif ini akan membentuk ruang muatan positif. Selain itu ion positif ini akan menjauhi permukaan konduktor. Dengan adanya peningkatan medan akan menambahkan timbulnya pembentukan korona akibat dari tumbukan dari elektron tambahan yang bergerak menuju konduktor tersebut. Penambahan ini akan menimbulkan proyeksi ruang muatan positif terus bertambah menjauhi konduktor.

Pada permukaan konduktor, tumbukan elektron terjadi didepan proyeksi ruang muatan positif yang semakin besar. Ruang muatan yang semakin besar diakibatkan dari adanya medan listrik yang semakin besar. Besar ruang muatan positif ini akan mendekati konduktor. Jika proses ini terus berlanjut maka proyeksi ruang muatan positif akan semakin besar lagi sedangkan medan listrik disekitar konduktor menjadi semakin lemah. Medan resultan yang dihasilkan menjadi divergen. Pada kondisi ini benturan elektron telah mencapai tahap akhir dengan ditandainya pelebaran ruang muatan positif dengan arah yang berbeda. Akibatnya, proyeksi awal ion positif mengalami perubahan arah cabang dari bentuk awalnya, cabang – cabang ini terus bertambah dan kemudian memunculkan cabang selanjutnya seperti ranting pohon. Pertumbuhan ini akan terhenti pada saat kuat medan listrik yang ada pada ujung cabang – cabang pita (*streamer*) positif sudah tidak cukup untuk melakukan proses ionisasi lagi.

Pelepasan berbentuk sikat adalah proses *streamer* yang diproyeksikan secara radial disepanjang permukaan konduktor. Panjang pelepasan ini mungkin sangat kecil pada tegangan rendah dan hanya bisa mencapai 2 cm sampai 5 cm pada tegangan tinggi. Dinamakan pelepasan sikat dikarenakan bentuk pelepasan cahaya yang menyerupai sikat. Bentuk cahaya ini hanya akan timbul pada permukaan apabila tegangan yang diterapkan berada pada setengah siklus negatif.

Ketika tegangan mengalami peningkatan pada kondisi frekuensi *rating* maka kuat medan listrik akan mengalami peningkatan yang sesuai dengan tegangan yang diberikan. Ketika kuat medan listrik yang dihasilkannya telah mencapai nilai kritisnya maka elektron bebas akan muncul dari permukaan konduktor. Elektron bebas ini kemudian akan dipercepat sehingga memiliki kecepatan untuk melakukan tumbukan sehingga terjadi ionisasi. Setelah elektron memiliki cukup energi, terjadilah tumbukan dengan molekul udara dan elektron akan bergerak kearah positif dari medan listrik yang dihasilkan yaitu menjauhi permukaan konduktor. Ion positif yang lebih berat dibandingkan dengan elektron akan tertinggal dan membuat jarak antar permukaan konduktor dengan bagian dari tumbukan elektron. Jarak ini disebut sebagai ruang muatan positif. Jarak ini mengakibatkan lemahnya medan listrik yang dihasilkan dari konduktor bertegangan.

Tumbukan yang terjadi akan semakin banyak karena adanya percepatan yang dimiliki elektron, lalu akan menghasilkan elektron – elektron bebas dalam jumlah besar. Ini akan menimbulkan jarak atau ruang muatan negatif yang dapat memperkuat medan listrik disekitar konduktor. Kenaikan kuat medan listrik ini menyebabkan elektron bebas bergerak dan menimbulkan tumbukan elektron sehingga akan semakin memperkuat ruang muatan negatif. Proses ini berlangsung terus – menerus sampai terjadi pelepasan cahaya berbentuk sikat yang akan tumbuh melebar. Pertumbuhan ini akan berhenti jika kuat medan listrik yang dihasilkan tidak cukup untuk melakukan ionisasi selanjutnya. Adanya pelepasan berbentuk sikat, menjadi nyata dengan timbulnya cahaya akibat dari rekombinasi ion positif dengan elektron bebas menjadi sebuah atom netral. Akibat cahaya yang tampak ini, lokasi dan jarak dari pelepasan berbentuk sikat yang dihasilkan dari tumbukan elektron bebas dapat diketahui.

Pelepasan berupa pemancaran atau cahaya dengan intensitas yang sangat lemah biasanya muncul dan menyelubungi permukaan konduktor. Cahaya ini tidak dapat memproyeksikan sesuatu bentuk apapun seperti pelepasan berbentuk pemancaran. Cahaya ini mungkin terlihat pada daerah kritis permukaan isolator dengan kondisi yang memiliki kelembaban cukup tinggi. Umumnya pada

pelepasan berbentuk pemancaran, tidak diiringi dengan bunyi – bunyi disekitar permukaan konduktor.

2.2.2 Suara Bising

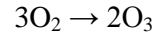
Medan listrik yang yang tinggi pada fenomena korona mengakibatkan terjadinya tumbukan elektron, jika kuat medan listrik ini terus meningkat maka tumbukan elektron akan semakin keras karena energi kinetik yang diperoleh elektron tersebut. Akibatnya terjadi eksitasi elektron dari udara, yaitu berubahnya kedudukan elektron dari orbitalnya semula ke tingkat orbital yang lebih tinggi. Ketika elektron ini berpindah kembali ke orbital yang lebih dalam terjadi pelepasan energi berupa suara mendesis. Suara mendesis ini terjadi disekitar konduktor. Suara tersebut dapat didengar oleh telinga manusia tergantung dari frekuensi yang dibangkitkannya dan juga jarak sumber suara dengan si pendengar. Suara mendesis yang dibangkitkan ini biasa disebut gangguan bising. Pada sistem transmisi, suara bising yang dibangkitkan oleh korona ini dideteksi dengan peralatan pendengaran ultrasonik. Kuat suara bising ini dipengaruhi oleh konduktor yang digunakan dan keadaan cuaca.



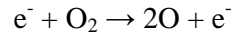
Gambar 2.1 Ultraprobe alat pendeteksi suara korona

2.2.3 Ozon (O₃)

Pada korona dengan kelembaban tinggi dihasilkan gas ozon dalam jumlah yang tidak terlalu besar. Gas ozon ini akan meningkat jumlahnya seiring dengan meningkatnya aktifitas korona. Ozon yang dihasilkan dapat meningkat secara pesat saat terjadinya pelepasan korona. Pembentukan ozon dihasilkan dari beberapa molekul oksigen.^[5]

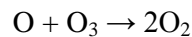
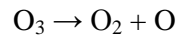


Pembentukan ozon oleh pelepasan korona pada oksigen murni, memiliki beberapa tahap pembentukan.



Dimana M = O₂ atau N₂

Pada persamaan diatas ozon dihasilkan dari reaksi antara oksida dengan oksigen. Oksida tersebut dihasilkan akibat penguraian dari molekul oksigen akibat tumbukan dengan elektron bebas. Elektron bebas ini kemudian jumlahnya meningkat dengan meningkatnya medan listrik, medan listrik yang semakin tinggi akan meningkatkan aktifitas dari korona. Oksida bebas tersebut akan bereaksi dengan oksigen yang kemudian akan membentuk ozon. Konsentrasi ozon ini meningkat sampai terjadinya pelepasan korona, kemudian setelah kondisi ini ozon akan terurai akibat panas yang dihasilkan saat pelepasan korona.



Ozon merupakan molekul triatomik, dimana molekul triatomik ini termasuk golongan yang astabil atau tidak stabil. Ini menyebabkan ozon sangat mudah terurai dibandingkan oksigen (diatomik).

2.3 Mekanisme Pelepasan Korona

Korona merupakan bentuk dari plasma yang merupakan campuran atom atau molekul dalam bentuk gas dengan elektron dan ion bebas yang mempunyai energi kinetik tinggi. Setiap pembawa muatan saling memengaruhi karena sifat muatan dan energinya, dan juga dipengaruhi oleh medan eksternal. Setiap Pembawa muatan ini bersama – sama memberikan gaya satu sama lain, sehingga mengakibatkan interaksi gaya yang besar. Gaya ini semakin besar jika medan

listrik yang ada semakin besar. Jika medan listrik ini melebihi medan listrik ini udara normal maka akan terjadi pelepasan korona.

Korona memiliki beberapa bentuk yaitu cahaya dan lingkaran cahaya, noda, sikat dan pita. Tegangan saat terjadinya awal korona disebut *corona threshold voltage*. Diatas tegangan ini, terdapat wilayah perbatasan, dimana arus meningkat sebanding dengan tegangan disebut *ohm's law regime*. Setelah wilayah itu, arus meningkat lebih cepat dibanding tegangan, lebih dulu untuk mengakibatkan lompatan api disebut potensial kegagalan (*breakdown potential*). Keadaan timbulnya lompatan api akibat gradien tegangan melebihi potensial kegagalan inilah yang disebut pelepasan korona.

Pelepasan korona juga tergantung dari ukuran konduktor. Kuat medan listrik lebih tinggi disekitar permukaan konduktor dengan kelengkungan lebih tinggi dan jari – jari lebih kecil.

$$= \frac{\dots}{4} \quad (2.10)$$

Dimana,

- E = kuat medan listrik (V/m)
- Q = muatan total dalam konduktor (Coulomb)
- r = jari – jari kelengkungan (m)
- ϵ = permitivitas medium (medium udara; $\epsilon = \epsilon_0 = 8.852 \times 10^{-12}$ F/m)

Oleh karena itu, jika r diperkecil, maka kuat medan listrik menjadi meningkat. Dengan demikian pelepasan korona akan lebih cepat terjadi.

Pelepasan korona digunakan pada alat pembersih udara untuk membersihkan udara dengan ionisasi. Ozon merupakan hasil dari pelepasan korona dan digunakan untuk membunuh mikroba atau kuman dan menetralisasi kontaminasi udara. Pelepasan korona di saluran transmisi menyebabkan kehilangan daya dan merusak konduktor serta menyebabkan degradasi dari isolator. Saat ini banyak teknologi dikembangkan untuk mendeteksi pelepasan korona pada saluran transmisi sehingga dapat dilakukan pencegahan. Pelepasan korona di saluran transmisi menyebabkan gangguan frekuensi radio yang

berinterferensi dengan sinyal komunikasi. Antena frekuensi tinggi sering digunakan dengan bola dipaling atas, dan ujung tajam dibagian bawah untuk mencegah kecenderungan pelepasan korona pada saluran transmisi.

Pelepasan korona merupakan bentuk ketidakseragaman dari medan listrik, ionisasi, dan pencahayaan, yang terdapat disekitar salah satu konduktor. Proses ionisasi yang terjadi terus – menerus menimbulkan korona, sampai terjadi pelepasan pada salah satu polaritas dari konduktor dimana medan listrik tinggi berada. Jika daerah dengan medan listrik tinggi berada disekitar katoda, maka pelepasan korona yang terjadi yaitu korona negatif. Sebaliknya, jika medan listrik tinggi terkonsentrasi disekitar anoda, maka pelepasannya disebut korona positif. Terdapat perbedaan antara korona positif dan korona negatif. Dimana pada korona positif, korona muncul dalam bentuk selubung cahaya seragam yang meliputi seluruh permukaan kawat. Pada korona negatif, korona muncul sebagai titik cahaya yang tersebar sepanjang penghantar. Selain itu, pada korona negatif menghasilkan lebih banyak ozon dibandingkan korona positif. Berikut merupakan penjelasan korona positif dan korona negatif.^[10]

2.3.1 Korona Positif

Sebuah korona positif banyak digambarkan sebagai sebuah plasma yang tidak seragam sepanjang konduktor. Plasma tersebut bercahaya biru atau putih tergantung besarnya emisi akibat sinar ultraviolet. Ketidakseragaman plasma bergantung pada kesamaan sumber elektron sekunder. Pada besaran dan tegangan yang sama, plasma tersebut memiliki ukuran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan korona negatif. Besar korona positif yang lebih kecil ini diakibatkan kurangnya daerah plasma yang terionisasi antara batas luar dan dalam, Sehingga pada korona positif elektron bebas yang dimilikinya berjumlah lebih sedikit dibandingkan dengan korona negatif kecuali pada permukaan konduktor yang tidak datar atau tajam. Hal ini dikarenakan pada permukaan konduktor yang tidak datar terkumpul ratusan sampai ribuan elektron. Pada korona positif elektron terkonsentrasi dekat dengan permukaan konduktor yang tidak datar dan pada daerah dengan beda potensial tinggi, ini dikarenakan elektron tersebut mendapatkan energi kinetik yang lebih besar. Jika elektron tersebut digunakan

dalam aplikasi yang membutuhkan energi aktivasi yang cukup tinggi maka korona positif dapat lebih mendukung untuk digunakan dibandingkan dengan korona negatif. Pelepasan korona menghasilkan ozon pada udara, banyak aplikasi yang memanfaatkan pelepasan korona ini untuk menggunakan ozon yang dihasilkan. Namun, pada korona positif, ozon yang dihasilkan jauh lebih sedikit dibandingkan korona negatif. Ini dikarenakan energi untuk reaksi yang dibutuhkan dalam produksi ozon relatif kecil.

Korona positif diawali dengan proses ionisasi yang beragam pada daerah yang memiliki gradien tegangan cukup tinggi. Elektron bebas yang dihasilkannya kemudian ditarik menuju permukaan konduktor yang tidak datar. Ion positif yang ditinggalkan elektron akan ditolak sehingga bergerak menjauhi permukaan konduktor tersebut. Akibat proses tumbukan yang tidak elastis maka semakin banyak molekul yang terionisasi akibat benturan ini selama perjalanan menuju permukaan konduktor. Pada korona positif, elektron sekunder yang berfungsi untuk mempertahankan terjadinya tumbukan selanjutnya akan dibangkitkan secara dominan dari elektron tersebut. Pembangkitan tersebut dapat terjadi pada daerah diluar plasma atau didalam daerah terjadinya tumbukan. Elektron – elektron sekunder ini dihasilkan dari proses ionisasi oleh emisi cahaya pada plasma dengan tingkat *de-eksitasi* yang beragam. Proses ini terjadi ketika benturan elektron telah selesai. Proses ionisasi oleh cahaya akan membebaskan energi termal pada plasma sehingga menghasilkan foton yang akan teradiasi kedalam gas. Elektron yang telah bebas dari molekul udar netral kemudian ditarik kembali menuju konduktor dan kedalam plasma. Lalu selanjutnya akan terjadi proses tumbukan didalam plasma.

Korona positif dibagi menjadi dua daerah yang terkonsentrasi pada permukaan konduktor yang lancip. Daerah pertama yaitu daerah bagian dalam atau daerah plasma yang mengandung elektron bebas akibat ionisasi dan ion positif. Daerah ini juga merupakan daerah terbentuknya pasangan ion atau elektron akibat tumbukan elektron yang terjadi didalamnya. Daerah kedua yaitu dibagian luar atau disebut daerah unipolar yang secara umum banyak mengandung ion positif yang bergerak menuju permukaan konduktor yang datar. Pada daerah ini tidak terdapat banyak elektron dikarenakan elektron sekunder

yang terbentuk oleh foton dari plasma akan dipercepat kembali menuju plasma tersebut.

2.3.2 Korona Negatif

Mekanisme korona negatif lebih kompleks jika dibandingkan dengan korona positif dalam konstruksinya. Korona positif diawali dengan proses ionisasi yang beragam dan menghasilkan elektron primer yang diikuti dengan proses tumbukan elektron. Namun pada korona negatif, ionisasi elektron pada molekul udara yang netral tidak dapat berfungsi dalam memperahankan proses korona negatif. Hal ini disebabkan pergerakan elektron pada korona negatif yaitu menjauhi konduktor yang tidak datar. Pada korona negatif, proses yang dominan dalam membangkitkan elektron sekunder adalah dengan efek fotolistrik dan emisi ion positif. Elektron tersebut keluar dari permukaan konduktor karena besar fungsi kerja pada permukaan konduktor lebih kecil jika dibandingkan dengan energi ionisasi yang dihasilkan dari udara pada suhu dan tekanan standar. Sumber energi yang membebaskan elektron adalah energi foton yang berasal dari atom pada badan plasma setelah tereksitasi pada benturan sebelumnya. Namun pada korona negatif, ionisasi pada udara netral sebagai sumber ionisasi akan semakin berkurang karena konsentrasi yang tinggi dari kumpulan ion positif yang berada disekitar permukaan konduktor yang tidak datar. Hal inilah yang menyebabkan korona negatif tidak akan bertahan. Untuk mempertahankan korona negatif maka elektron sekunder berasal dari emisi ion positif. Emisi ini terjadi akibat tingginya konsentrasi ion positif pada permukaan konduktor sehingga ion positif akan menabrak permukaan konduktor. Tabrakan ini akan mengakibatkan terlepasnya elektron sekunder yang kemudian bergerak menjauhi konduktor.

Perbedaan paling mendasar dari korona positif dan korona negatif adalah sumber elektron sekunder dan pergerakannya. Pada korona positif, elektron sekundernya berasal dari udara yang berada disekeliling daerah plasma. Lalu elektron sekundernya akan bergerak masuk dan mendekati konduktor. Pada korona negatif elektron sekundernya berasal dari konduktor tersebut. Kemudian elektron yang keluar dari konduktor tersebut akan bergerak keluar atau menjauhi konduktor.

Struktur lain yang dimiliki oleh korona negatif adalah ion negatif. Ion ini dapat terbentuk akibat pergerakan elektron yang menjauhi konduktor dan bertemu molekul netral yang mempunyai sifat elektronegatif seperti oksigen atau uap air. Kemudian elektron tersebut akan berkombinasi dengan molekul netral dan menghasilkan ion negatif. Ion negatif ini akan ditarik menuju permukaan konduktor yang bersifat positif. Selain itu, molekul elektronegatif diperlukan pada korona negatif untuk mempertahankannya. Dengan adanya molekul elektronegatif maka semua elektron bebas yang berada didekatnya akan ditangkap sehingga tidak terjadi lompatan listrik.

Korona negatif dapat dibagi menjadi tiga daerah yang berada disekitar konduktor yang runcing. Daerah pertama yaitu daerah dalam, daerah yang elektronnya memiliki energi yang tinggi untuk menabrak secara inelastis dengan atom netral dan menyebabkan ionisasi. Sementara itu elektron terluar akan berkombinasi dengan atom netral menjadi ion negatif. Lalu daerah tengah yang merupakan daerah tempat berkombinasinya elektron untuk menghasilkan ion negatif, namun elektron tersebut tidak memiliki cukup energi untuk menyebabkan ionisasi. Daerah ini juga termasuk kedalam bagian plasma yang memiliki polaritas yang berbeda tergantung muatannya yang berada pada daerah tersebut. Akan tetapi daerah ini memiliki kemampuan untuk turut serta dalam reaksi plasma. Daerah terluar merupakan daerah tempat mengalirnya ion negatif, dan juga merupakan tempat elektron bebas bergerak menuju bagian konduktor positif. Daerah dalam merupakan daerah plasma ionisasi, daerah tengah adalah daerah plasma yang tidak berionisasi dan kedua daerah tersebut merupakan bagian dari daerah plasma, sedangkan daerah ketiga atau daerah terluar merupakan daerah muatan tunggal (unipolar).

2.4 Faktor - Faktor yang Memengaruhi Korona

Penerapan tegangan tinggi yang mendekati tegangan kerusakan dalam sistem tenaga listrik dapat menimbulkan gejala korona. Terjadinya gejala korona dalam sistem bertegangan tinggi tersebut ditentukan oleh beberapa faktor yang menentukan besar aktifitas korona, faktor tersebut dapat berupa keadaan lingkungan, bentuk dan ukuran dari konduktor yang digunakan serta besar

tegangan yang diterapkan pada sistem tersebut. Faktor – faktor tersebut diantaranya atmosfer, kerapatan udara, ukuran dan bentuk permukaan konduktor, jarak antar konduktor dan tegangan saluran.

2.4.1 Atmosfer

Keadaan atmosfer memengaruhi nilai kekuatan isolasi udara dan gradien potensial awal terjadinya korona, diantaranya yaitu angin, kelembaban udara, cuaca, dan suhu udara. Misal ketika kondisi lingkungan sedang berangin kencang, maka jumlah ion dan elektron akan lebih banyak daripada saat kondisi normal. Ini menyebabkan korona terjadi pada gradien potensial lebih rendah dibandingkan cuaca normal.

Suhu dan tekanan sangat memengaruhi nilai dari tegangan awal korona, semakin tinggi suhu maka tegangan awal korona menjadi lebih kecil, sehingga korona menjadi lebih besar. Pada tekanan tinggi maka tegangan awal korona menjadi semakin tinggi dan korona lebih kecil. Pada daerah yang memiliki suhu tinggi dan tekanan rendah, maka korona menjadi lebih besar. Pada daerah pegunungan memiliki suhu rendah dan tekanan tinggi, sehingga kemungkinan korona menjadi lebih kecil.

Kelembaban udara yang semakin tinggi juga akan mempercepat terjadinya korona. Pada saat udara semakin lembab maka semakin banyak air yang terkandung dalam udara tersebut sehingga elektron bebas yang dihasilkan akan semakin banyak. Dengan semakin banyaknya elektron bebas ini, maka lonsoran elektron akan semakin cepat terbentuk dan terjadi ionisasi yang mengawali terjadinya korona.

Pada saat hujan, salju, jarum es dan kabut yang dihasilkan akan mengakibatkan korona menjadi lebih besar. Salju memberikan sedikit penurunan pada tegangan kegagalan kritis udara. Hal ini dijelaskan dengan persamaan Peek (2.11) dan (2.12).

$$= 21,1. \dots - ; \quad (2.11)$$

$$= 16,9. \dots - ; \quad h \quad (2.12)$$

dimana,

- V_d = tegangan kegagalan kritis udara (kV/fasa)
- δ = faktor kerapatan udara = 1 (tekanan 76 cmHg dan suhu 25° C)
- b = tekanan (mmHg)
- t = suhu (°C)
- r = jari – jari konduktor (cm)
- D = jarak antar pusat konduktor (cm)
- m_0 = faktor tak tertentu
 - = 1 untuk kawat permukaannya halus
 - = 0,98 – 0,93 untuk kawat kasar atau kotor
 - = 0,87 – 0,80 untuk kawat berlilit 7
 - = 0,85 – 0,83 ntuk kawat berlilit lebih dari 7 (19, 37, dan 61)

Dari persamaan Peek tersebut ditunjukkan bahwa pada keadaan basah tegangan minimum terjadinya korona lebih rendah dibandingkan dengan keadaan normal. Jadi, dapat disimpulkan korona lebih cepat terjadi pada keadaan basah.

2.4.2 Kerapatan Udara

Pada saat terjadi proses ionisasi ion – ion bergerak dalam udara dengan kecepatan yang berbeda – beda, tergantung dari kuat medan listrik yang memengaruhinya serta kerapatan udara yang dilaluinya.

$$= \frac{\cdot}{\text{---}} \quad (2.13)$$

dimana,

- v = kecepatan rata – rata ion (m/s)
- E = kuat medan listrik (kV/m)
- P = kerapatan udara (partikel/m³)
- A = konstanta

Perbandingan kecepatan rata – rata dalam medan tertentu dan kuat medan menunjukkan gerak ion dalam gas disebut kelincahan ion. Besarnya kelincahan ion yaitu,

$$= - = - \quad (2.14)$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa kelincahan dari ion akan berkurang bila kerapatan udara atau gas bertambah. Udara dengan kerapatan antar molekul yang lebih tinggi, molekul – molekul gas tersebut akan lebih padat dibandingkan gas dengan kerapatan rendah, sehingga kelincahan geraknya berkurang.

2.4.3 Ukuran dan Bentuk Permukaan Konduktor

Ukuran dari konduktor juga memengaruhi terjadinya korona, konduktor dengan diameter lebih besar maka akan memiliki medan listrik pada permukaan penghantar yang lebih kecil.

$$= \frac{\quad}{4} \quad (2.15)$$

dimana,

E = kuat medan listrik (kV/m)

Q = muatan (Coulomb)

r = jari – jari konduktor (m)

ϵ = permitivitas medium (medium udara $\epsilon = \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m)

Konduktor dengan diameter lebih besar memiliki tegangan awal korona lebih rendah dibandingkan dengan diameter yang lebih kecil. Ini dikarenakan pada konduktor dengan diameter lebih kecil atau ujungnya runcing memiliki medan listrik yang lebih tinggi dikarenakan elektron terkumpul disatu titik tidak menyebar. Itu sebabnya mengapa pada penangkap petir konduktor ujungnya dibuat meruncing.

Bentuk permukaan dan kondisi dari konduktor juga memengaruhi pembentukan korona. Pada permukaan yang tidak rata dan kotor akan mengurangi nilai dari tegangan kegagalan sehingga korona dapat terjadi pada tegangan lebih rendah. Ini dikarenakan medan listrik pada permukaan yang kasar lebih besar dibandingkan dengan permukaan yang halus. Sehingga pada permukaan kasar korona yang terjadi lebih besar dibandingkan pada kawat halus.

Untuk kawat transmisi terdapat suatu faktor yang dinamakan faktor ketidakteraturan (m_0), maksudnya merupakan ketidakteraturan dari bentuk permukaan kawat. Dalam kondisi normal faktor permukaan kawat ini ditetapkan oleh Peek pada tabel 2.1.^[3]

Tabel 2.1 Faktor permukaan kawat

Kondisi Permukaan Kawat	m_0
Halus	1
Kawat kasar	0,98 – 0,93
Kawat berlilit 7	0,87 – 0,83
Kawat berlilit (19 – 61)	0,85 – 0,80

2.4.4 Jarak Antar Konduktor

Jarak antara konduktor sangat memengaruhi pembentukan korona. Jika jarak antar konduktor ini dibuat sangat besar dibandingkan diameter konduktor, maka hampir tidak mungkin terjadi korona. Hal ini dikarenakan jika jarak antar konduktor dibuat sangat besar maka tekanan elektrostatik antar dua konduktor tersebut juga akan berkurang, sehingga proses ionisasi menjadi sulit terjadi. Semakin besar jarak konduktor maka tegangan awal korona V_v semakin besar, ini sesuai dengan persamaan (2.7).

2.4.5 Tegangan saluran

Pada suatu sistem transmisi memiliki tegangan saluran yang sangat besar antar fasanya, besar dari tegangan saluran ini menentukan besar dari medan listrik yang dihasilkan sekitar kawat transmisi tersebut. Semakin besar tegangan, maka akan semakin besar medan listriknya. Dengan semakin meningkatnya medan

listrik maka korona akan memiliki percepatan dalam tumbukannya, sehingga elektron akan semakin cepat bertumbukan dan semakin cepat pula terbentuk longsoran elektron. Lalu terjadinya korona pun menjadi lebih cepat. Selain itu, pada tegangan saluran yang besar akan terdapat tekanan elektrostatis pada permukaan konduktor, membuat udara disekeliling konduktor terionisasi. Pada saat ionisasi akan dihasilkan lonsoran elektron (*avalanche*), longsoran elektron ini akan semakin cepat terbentuk jika tegangan saluran terus ditingkatkan. Semakin besar tegangan yang diberikan, maka akan semakin besar percepatan yang dimiliki elektron untuk bertumbukan sehingga *avalanche* akan lebih cepat terjadi, selanjutnya akan terjadi korona.

2.5 Akibat yang Ditimbulkan Korona

Korona cukup menyebabkan banyak masalah yang harus mendapat perhatian, diantaranya interferensi radio, degradasi atau kerusakan pada peralatan listrik yang dikenai korona, dan meningkatnya rugi – rugi daya saluran.

2.5.1 Interferensi Radio

Korona meradiasikan *noise* berfrekuensi tinggi dalam jumlah besar. Ini dapat mengganggu operasi radio dengan frekuensi berbeda. Selain itu, radiasi akibat korona ini juga dapat menyebabkan interferensi televisi dan rangkaian komunikasi didekatnya.

Akibat adanya tumbukan elektron – elektron pada udara, menimbulkan arus yang nilainya relatif kecil dan memiliki bentuk gelombang yang *non – sinusoidal*. Akibatnya akan terdapat *non – sinusoidal voltage drop*. Kemudian akan terbentuk medan elektromagnetik dan medan elektrostatis. Selanjutnya medan elektromagnetik dan medan elektrostatis ini menginduksikan rangkaian komunikasi atau radio disekitarnya, sehingga akan menyebabkan terjadinya interferensi.

2.5.2 Degradasi atau Kerusakan Material dan Peralatan Listrik

Korona menimbulkan panas disekitar daerah terjadinya korona dan panas ini semakin meningkat dengan kenaikan tegangan yang diberikan sampai terjadi

pelepasan korona. Panas ini dapat menyebabkan perubahan susunan atom dari material. Akibatnya material tersebut memiliki susunan atom yang baru, sehingga sifat dari material tersebut mengalami perubahan. Pada akhirnya material tersebut akan lebih cepat rusak dan mengalami penurunan kualitas atau degradasi. Pada saat pembentukan korona juga dihasilkan gas ozon, dimana jika kondisi lembab dan gas ini bereaksi secara kimia dengan konduktor dapat menyebabkan korosi pada konduktor tersebut.

Pelepasan korona (*sparkover*) akan menimbulkan harmonik sesaat, sehingga akan menghasilkan arus transien. Arus transien ini akan berbahaya pada peralatan listrik yang dialirinya atau bahkan jika arus transien ini sangat tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik karena dilalui arus yang melebihi *rating*-nya.

2.5.3 Rugi Daya Korona

Ion dan elektron yang bergerak pada udara dapat bergerak dan memiliki percepatan karena energi kinetik yang diberikan. Energi kinetik tersebut didapat dari sistem dan dikatakan energi yang hilang. Energi yang hilang ini terdisipasi dalam bentuk panas, suara, dan cahaya. Energi yang terdisipasi dalam bentuk panas, suara, dan cahaya inilah yang dimaksud dengan rugi daya korona. Rugi daya pada keadaan cuaca normal ditentukan berdasarkan percobaan oleh Peek, dengan persamaan (2.16).^[2]

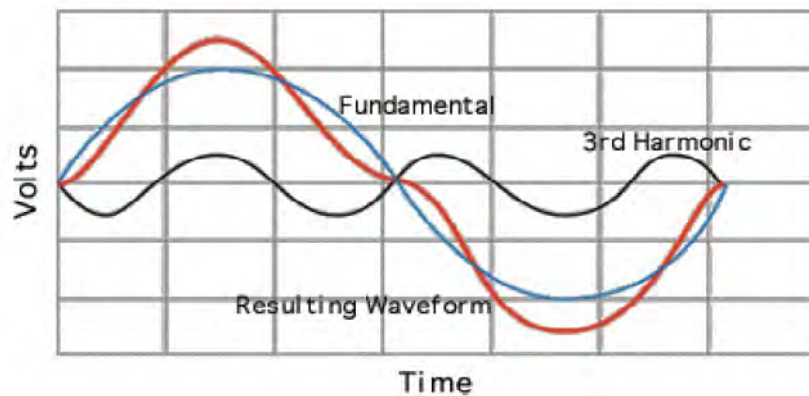
$$P = (241 \cdot 10^{-25}) \frac{+25}{2} \left(\frac{E_0}{E} \right)^2 \quad (2.16)$$

Dimana,

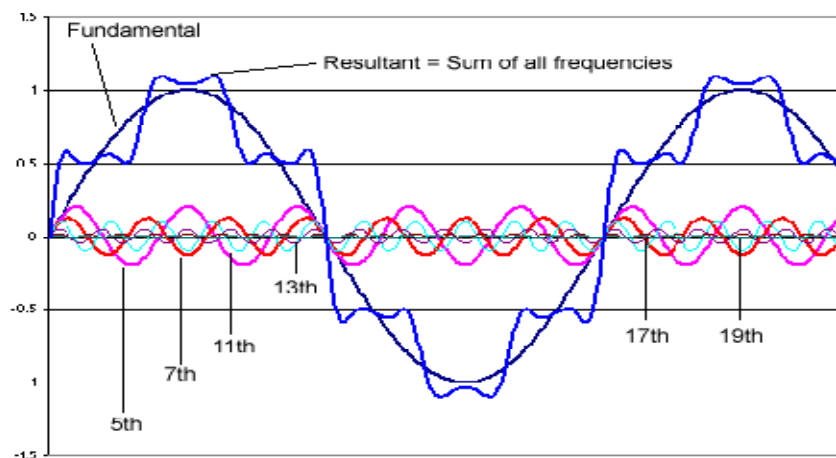
- P = rugi daya akibat korona (kW/km/fasa)
- f = frekuensi sumber
- E₀ = tegangan awal terjadinya korona (kV/fasa)
- E = tegangan fasa ke netral (kV)
- δ = faktor kerapatan udara = 1 (tekanan 76 cmHg dan suhu 25° C)
- b = tekanan (mmHg)
- t = suhu (°C)
- r = jari – jari konduktor (cm)

2.6 Harmonik

Gelombang tegangan dan arus yang berasal dari sumber merupakan gelombang sinusoidal. Namun, pada proses transmisi dan distribusi terjadi berbagai gangguan yang menyebabkan bentuk gelombang menjadi non – sinusoidal. Salah satu gangguan yang menyebabkan perubahan bentuk gelombang ini yaitu harmonik. Gelombang harmonik ini menumpang pada gelombang dasarnya, sehingga dihasilkan gelombang yang terdistorsi. Harmonik merupakan pembentukan gelombang sinusoidal dengan frekuensi yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Akibatnya gelombang pada sistem merupakan superposisi dari gelombang frekuensi dasar dan gelombang dengan frekuensi harmonik.^[9] Hasilnya merupakan bentuk gelombang yang terdistorsi sehingga bentuk gelombang menjadi non – sinusoidal.



Gambar 2.2 Distorsi harmonik Orde 3



Gambar 2.3 Distorsi harmonik berorde banyak

Dari gambar 2.2 dapat dilihat bahwa hanya terdapat harmonik orde 3 dan pada gambar 2.3 terdapat harmonik orde 5, 7, 11, 13, 17, dan 19. Berdasarkan gambar tersebut dapat disimpulkan semakin banyak orde harmonik maka bentuk gelombang yang dihasilkan akan semakin banyak riak (*ripple*).

2.6.1 Orde dan Spektrum Harmonik

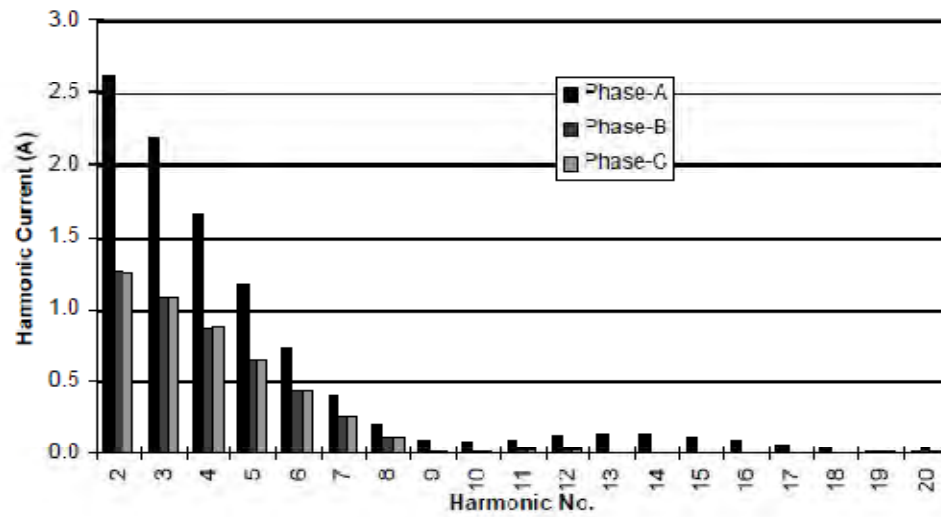
Orde Harmonik merupakan perbandingan antara frekuensi harmonik dengan frekuensi dasarnya. Orde harmonik berupa bilangan bulat yang besarnya dari 2 sampai n . Gelombang yang diberikan Sumber merupakan gelombang dengan frekuensi dasar (50 Hz atau 60 Hz) dan memiliki orde 1, gelombang ini tidak dianggap sebagai harmonik. Persamaan dari orde harmonik dapat dilihat pada persamaan (2.17).

$$= - \quad (2.17)$$

Dimana,

- n = orde harmonik
- f_n = frekuensi harmonik ke- n
- F = frekuensi dasar

Nilai dari setiap orde harmonik terhadap gelombang dasar dapat dilihat perbandingannya dalam bentuk grafik histogram yang disebut sebagai spektrum harmonik. Jadi, spektrum harmonik adalah distribusi dari semua amplitudo komponen harmonik. Pada spektrum ini, nilai harmonik untuk setiap orde dapat ditunjukkan baik dalam bentuk nilai aktual atau dalam bentuk persentase yang merupakan perbandingan nilai dari harmonik orde n dengan nilai frekuensi dasarnya (orde 1).



Gambar 2.4 Spektrum Harmonik

2.6.2 Distorsi Harmonik Total atau *Total Harmonic Distortion* (THD)

Salah satu masalah kualitas daya listrik adalah adanya distorsi harmonik. Distorsi harmonik menyebabkan perubahan bentuk gelombang dari sinusoidal murni menjadi non – sinusoidal, ini dikarenakan gelombang harmonik tersebut menumpang pada gelombang dasarnya. Besar dari distorsi harmonik total (THD) ini dirumuskan sebagai berikut.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} M_n^2}}{M_1} \quad (2.18)$$

dimana,

THD = Distorsi Harmonik Total

M_n = nilai rms tegangan atau arus ke-n

M_1 = nilai rms tegangan atau arus pada frekuensi dasar

Berdasarkan persamaan diatas dapat dilihat bahwa THD merupakan perbandingan dari nilai total distorsi dari orde ke-2 sampai orde ke-n dengan nilai pada frekuensi dasarnya. Besar THD tegangan maksimal yang diizinkan menurut IEEE yaitu 5 %.

2.6.3 Sumber dan Efek Harmonik pada jaringan Listrik Tegangan Tinggi

Pada jaringan listrik AC, tegangan dan arus diharapkan memiliki bentuk gelombang sinusoidal. Berbagai penyimpangan menyebabkan adanya tegangan dan arus tambahan dengan frekuensi yang lebih tinggi. Ini dapat menyebabkan perubahan kondisi dari operasi normalnya, baik didalam jaringan tersebut maupun jaringan lain yang berdekatan. Sumber harmonik dan komponen harmonik yang dibangkitkan dapat memicu terjadinya tegangan lebih dan arus dalam skala tinggi, yang dapat menyebabkan lompatan api (*sparkover*), kerusakan peralatan, kerusakan atau degradasi bahan isolasi, atau konduktor menjadi sangat panas dibandingkan saat keadaan normal. Sumber harmonik ini secara garis besar berasal dari peralatan non – linear (misal transformator) dan peralatan elektronika daya. Selain itu harmonik pada sistem tegangan tinggi juga bisa disebabkan oleh beberapa gejala – gejala yang ada pada tegangan tinggi tersebut, misal busur api (*arc furnace*) dan korona.^[4]

Peralatan non – linear merupakan peralatan yang memiliki hubungan antara tegangan dan arus yang tidak linear, ini dikarenakan adanya saturasi pada peralatan tersebut. Saturasi ini disebabkan oleh elemen magnetiknya. Pada transformator, harmonik dibangkitkan dari saturasi inti magnetiknya yang diawali saat flux inti tersebut memasuki daerah non – linear dari kurva magnetisasi. Saat operasi normal, harmonik yang dihasilkan tidak terlalu besar. Namun ketika kondisi kelebihan eksitasi (*over – excitation*), harmonik yang dihasilkan akan menjadi sangat besar.

Peralatan elektronika daya merupakan salah satu penyebab harmonik, diantaranya konverter statik, konverter PWM, inverter, pengendali motor listrik, *electronic ballast*, dan lain – lain. Peralatan elektronika daya ini menghasilkan harmonik akibat *periodic switching* dari komponen – komponen didalamnya. Komponen elektronika daya seperti dioda, *silicon – controlled rectifiers* (SCR), transistor daya dan *switch* elektronik lainnya yang bekerja dengan memotong bentuk gelombang untuk mengatur daya keluaran atau mengubah dari AC menjadi DC. Peralatan elektronika daya ini mengatur daya dengan mengubah gelombang arus pada interval tertentu. Ini menyebabkan gelombang arus menjadi menjadi tidak lagi sinusoidal. Arus non – sinusoidal ini berinteraksi dengan impedansi

sistem sehingga menyebabkan kenaikan pada distorsi tegangan (*voltage distortion*).

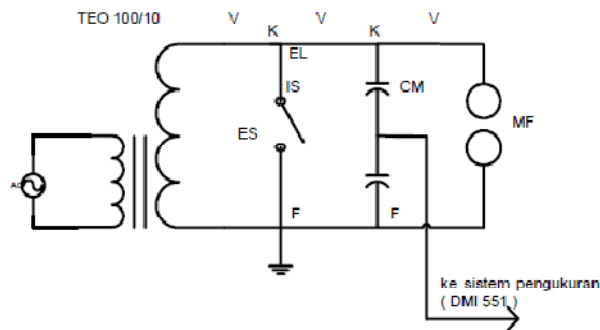
Pada peristiwa korona juga dihasilkan harmonik akibat dari arus non – sinusoidal yang dihasilkannya, arus non – sinusoidal ini menghasilkan non – sinusoidal *voltage drop*. Arus ini akan terus meningkat dengan meningkatnya aktifitas korona dan akan mencapai maksimal saat terjadi pelepasan korona (*sparkover*). Pada saat cuaca hujan dan kelembaban tinggi, arus harmonik pada korona akan meningkat lebih cepat dibandingkan saat cuaca normal. Ini mengakibatkan rugi daya korona menjadi lebih besar pada saat kondisi tidak normal.

BAB 3 METODE DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan dengan membangkitkan tegangan tinggi arus bolak – balik dengan menggunakan transformator *step – up*. Ini bertujuan agar dapat dihasilkan proses ionisasi akibat tingginya medan listrik disekitar konduktor. Pengujian dilakukan pada permodelan kubikel, dimana didalam kubikel tersebut terdapat satu konduktor bertegangan. Konduktor dan kubikel dipisahkan dengan jarak tertentu, sehingga terhubung terbuka (*open circuit*). Kemudian tegangan dinaikkan secara bertahap sampai terjadi korona. Pendeteksian korona dilakukan secara indrawi, yaitu dengan mendengar suara desisan. Kemudian tegangan terus dinaikkan sampai terjadi pelepasan korona (*discharge*) berupa *sparkover*.

Untuk dapat mengetahui besar pengaruh korona terhadap distorsi harmonik gelombang tegangan, dilakukan pengukuran berupa besar Distorsi harmonik total (THD) dari gelombang tegangan tersebut. Pengukuran dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap sebelum korona dan tahap selama korona terjadi (sampai sebelum terjadi pelepasan). Tegangan yang diukur THD – nya yaitu tegangan setelah sisi sekunder transformator (bagian tegangan tinggi). Pengukuran pada tegangan tinggi ini menggunakan *capacitor divider* dengan prinsip sebagai pembagi tegangan. Pengukuran Distorsi harmonik total (THD) dilakukan dengan menggunakan alat *power quality analyzer* merk HIOKI.



Gambar 3.1 Rangkaian pembangkit tegangan tinggi bolak - balik

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan diameter konduktor (bentuk silinder padat; diameter 4 mm, 8 mm, dan 15 mm) dan jarak antara konduktor dan kubikel (4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm). Ini bertujuan untuk melihat pengaruh perbedaan diameter dan jarak terhadap Distorsi harmonik total (THD) yang dihasilkan. Pengujian dilakukan di Laboratorium tegangan tinggi Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3.2 Peralatan Pengujian

Dalam pengambilan data untuk mengetahui pengaruh korona terhadap besar Distorsi harmonik total (THD) yang dihasilkan digunakan peralatan – peralatan sebagai berikut :

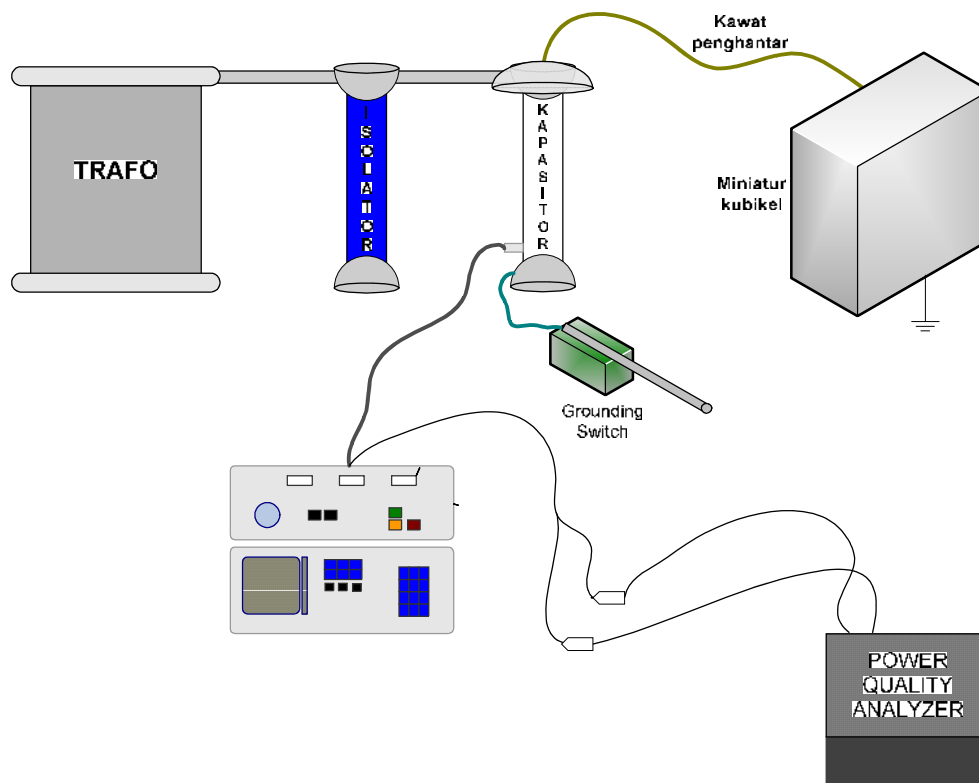
1. Satu buah Trafo Penguji 100 kV/10 kVA (TEO 100/10)
2. Satu buah *Support Insulator*
3. Satu buah *Measuring Capacitor* 100 kV, 100 pF
4. Satu buah *Grounding Switch*
5. Kawat penghantar
6. Model kubikel
7. Satu unit Pengendali DMI 551 dan OT 275
8. Satu set unit *power quality analyzer* (HIOKI 3169-20)
9. Kabel BNC
10. Komputer jenis PC
11. Microsoft Office Excel 2007
12. Supprot Software Power Measurement 9625 (Interface HIOKI 9625 dengan PC)



Gambar 3.2 HIOKI 3169-20

3.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan membangkitkan tegangan tinggi oleh transformator *step – up*. Tegangan keluaran transformator dapat diatur dengan mengatur tegangan masukan transformator melalui *autotransformer*. *Autotransformer* mengatur tegangan dari 0 – 230 Volt. Besar tegangan tinggi dari keluaran transformator akan dihubungkan dengan konduktor yang terpasang didalam kubikel. Kubikel dihubungkan ke bumi melalui *grounding switch* untuk mengalirkan muatan ketika terjadi hubung singkat akibat pelepasan korona (*sparkover*) atau *flashover*. *Autotransformer* dan *grounding switch* dikendalikan oleh pengendali DMI 551 dan OT 275. Pengukuran tegangan yaitu dengan menggunakan kabel BNC yang dihubungkan pada AC INPUT DMI 551. Tegangan keluaran dari kabel BNC tersebut dihubungkan dengan HIOKI *power quality analyzer* untuk mengukur THD yang dihasilkan. Rangkaian pengujian dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Susun rangkaian pengujian seperti pada gambar 3.3
2. Hubungkan kubikel dengan sistem pentanahan
3. Pasang kawat penghantar dengan diameter 4 mm pada model kubikel, dengan jarak terdekat 4 cm terhadap salah satu sisi kubikel.
4. Hidupkan peralatan DMI 551 dan OT 275
5. Hidupkan HIOKI *power quality analyzer*, paralelkan dengan AC INPUT DMI 551 untuk mendapatkan nilai tegangan yang diukur dan Distorsi harmonik total (THD) yang dihasilkan.
6. Melakukan pengujian awal untuk mendapatkan nilai tegangan pelepasan korona (*discharge*), untuk dijadikan acuan dalam pengambilan data pengujian.
7. Naikkan tegangan sampai 10 kV (ditetapkan sebagai tegangan awal untuk setiap pengujian).
8. Naikkan tegangan secara bertahap (6 atau 7 kali) dari tegangan awal 10 kV sampai mendekati nilai tegangan gagal yang didapatkan dari pengujian awal (poin 6). Setelah setiap kali menaikkan tegangan, tunggu sampai 1 menit untuk menaikkan lagi. Dikarenakan HIOKI *power quality analyzer* melakukan penyimpanan data setiap interval 1 menit.
9. Turunkan tegangan pada kendali OT 275
10. Pastikan *ground switch* terhubung dengan rangkaian dan semua *circuit breaker* terbuka.
11. Tunggu selama sekitar 1 menit untuk membuang sisa – sisa muatan listrik akibat pengujian sebelumnya.
12. Ulangi langkah 3 sampai 11 sebanyak 3 kali
13. Ulangi langkah 3 sampai 12 dengan mengatur jarak konduktor dengan kubikel sebesar 6 cm, 8 cm, 10 cm.
14. Setelah langkah 13 selesai, Ulangi kembali langkah 3 sampai 13 dengan diameter konduktor 8 mm dan 15 mm.
15. Matikan semua peralatan yang digunakan.

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Setelah melakukan pengujian, dilakukan pengolahan data dari HIOKI *power quality analyzer* dengan menggunakan microsoft office excel 2007. Diperoleh data berupa tegangan, distorsi harmonik total (THD) dan distorsi harmonik (HD) setiap orde yaitu dari orde 2 sampai dengan 40. Distorsi harmonik pada setiap orde besarnya relatif sangat berbeda, khusus untuk orde genap distorsi harmonik yang dihasilkan nilainya sangat kecil. Untuk itu penulis hanya memfokuskan pada orde ganjil. Namun, tidak semua nilai distorsi harmonik pada orde ganjil yang memberikan pengaruh besar terhadap THD yang dihasilkan, sehingga penulis hanya memfokuskan pada beberapa orde tertentu dengan nilai yang relatif signifikan dibandingkan beberapa orde lainnya yaitu orde 3, 5, 7, 9, dan 11. Besar THD yang dihasilkan akan dilihat karakteristik perbandingannya antara sebelum terjadi korona dan saat terjadi korona, kondisi dimana terjadi perubahan awal dari sebelum korona dan saat awal korona dinamakan kondisi peralihan. kemudian akan dilihat pengaruh korona terhadap perubahan besar THD yang dihasilkan. Selanjutnya akan dilihat nilai dari orde – orde tersebut diatas terhadap perubahan THD yang dihasilkan akibat dari adanya korona. Dilakukan beberapa variasi pengujian yaitu berupa variasi diameter kawat penghantar dan jarak antara kawat penghantar ke kubikel. Untuk itu akan dilakukan perbandingan dari THD dan orde – orde tadi berdasarkan perbedaan diameter dan berdasarkan perbedaan jarak.

Pada setiap pengujian akan ditampilkan tabel berupa tegangan, THD, dan HD orde 3, orde 5, orde 7, orde 9, dan orde 11. Pada tabel terdapat perbedaan warna, dimana warna biru menyatakan keadaan sebelum korona dan warna merah menyatakan keadaan saat korona terjadi. Berikut merupakan hasil pengujian untuk variasi diameter kawat penghantar dan jarak antara kawat penghantar ke kubikel.

4.1 Pengujian kawat penghantar berdiameter 4 mm

Untuk kawat penghantar dengan diameter 4 mm dilakukan pengujian dengan variasi jarak antara kawat penghantar ke kubikel yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Untuk setiap jarak dilakukan 3 kali pengujian, kemudian akan diambil nilai rata - rata dari ketiga pengujian tersebut.

4.1.1 Jarak 4 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 4 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 4 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. Diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.1 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm dan jarak 4 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,637	12,410	14,480	16,763	19,003	21,127	22,340
THD (%)	1,705	1,737	1,770	1,843	1,903	1,947	2,017
Orde 3	0,507	0,573	0,483	0,537	0,463	0,500	0,530
Orde 5	1,283	1,330	1,330	1,383	1,407	1,400	1,413
Orde 7	0,593	0,640	0,653	0,703	0,753	0,773	0,790
Orde 9	0,543	0,547	0,637	0,643	0,713	0,827	0,943
Orde 11	0,383	0,363	0,447	0,460	0,497	0,467	0,467

Besar THD saat tegangan awal 10,637 kV yaitu 1,705 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 12,41 kV dengan besar THD menjadi 1,737 %. Dengan menaikkan tegangan menjadi 14,480 kV diperoleh THD sebesar 1,770 %. Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 16,763 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 16,763 kV besar THD meningkat menjadi 1,843 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 19,033 kV, diperoleh besar THD 1,903 %. Lalu tegangan ditingkatkan kembali hingga mencapai 21,127 kV, diperoleh THD 1,947 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 22,34 kV, didapatkan besar THD 2,017 %.

Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 0,507; 0,573; 0,483; 0,537; 0,463; 0,500; 0,530.

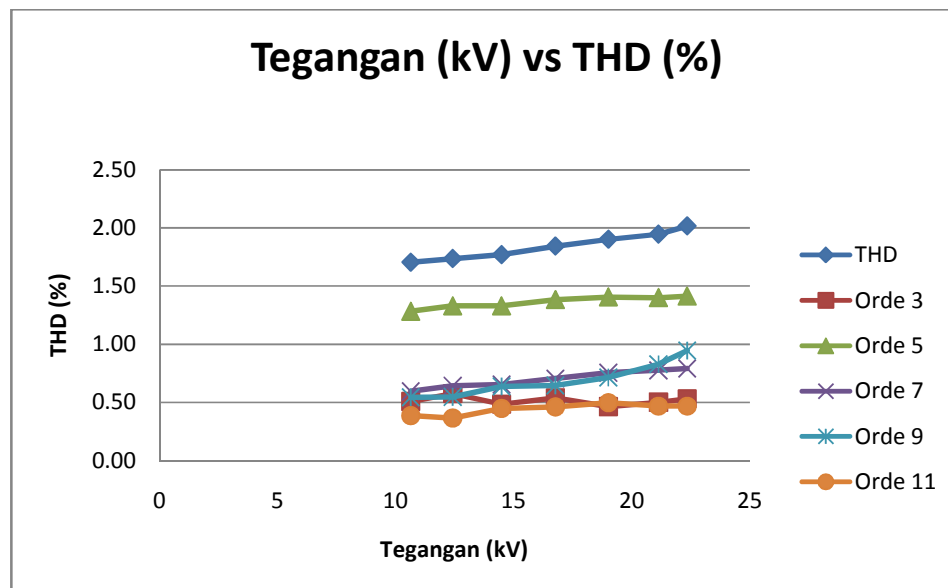
Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,283; 1,330; 1,330; 1,383; 1,407; 1,400; 1,413.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 0,593; 0,640; 0,653; 0,703; 0,753; 0,773; 0,790.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 0,543; 0,547; 0,637; 0,643; 0,713; 0,827; 0,943.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,383; 0,363; 0,447; 0,460; 0,497; 0,467; 0,467.

Perbandingan nilai kenaikan tegangan dan THD serta orde 3, orde 5, orde 7, orde 9, dan orde 11 ditunjukkan pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.1 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm dan jarak 4 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Namun, ketika korona belum terjadi, kenaikan THD relatif kecil dibandingkan dengan saat korona. Dari grafik terlihat bahwa gradien THD menjadi lebih besar saat korona dibandingkan saat sebelum korona.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Dapat dilihat grafik orde 7 yang mendekati linear. Namun, tidak terjadi perbedaan peningkatan yang cukup signifikan antara sebelum korona dan saat korona terjadi, dimana kenaikannya cenderung konstan dengan kenaikan tegangan.

Untuk orde 9, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Namun, saat korona terjadi, peningkatan nilai HD lebih besar dibandingkan dengan peningkatan saat sebelum korona. Dapat dilihat dari grafik orde 9, dimana gradien HD saat korona lebih besar dibandingkan saat sebelum korona.

Untuk orde 11, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 11. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 11 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi, nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

4.1.2 Jarak 6 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 4 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 6 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.2 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm dan jarak 6 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,760	14,453	17,773	20,743	23,797	26,607	27,863
THD (%)	1,733	1,823	1,903	1,923	1,977	2,010	2,167

Orde 3	0,533	0,620	0,603	0,587	0,567	0,537	0,667
Orde 5	1,267	1,313	1,350	1,347	1,387	1,370	1,457
Orde 7	1,010	0,747	0,813	0,813	0,840	0,767	0,900
Orde 9	0,607	0,643	0,687	0,797	0,813	0,967	1,020
Orde 11	0,370	0,383	0,447	0,433	0,450	0,410	0,413

Besar THD saat tegangan awal 10,760 kV yaitu 1,733 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 14,453 kV dengan besar THD menjadi 1,823 %. Dengan menaikkan tegangan menjadi 17,773 kV diperoleh THD sebesar 1,903 %. Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 20,743 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 20,743 kV besar THD meningkat menjadi 1,923 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 23,797 kV, diperoleh besar THD 1,977 %. Lalu tegangan ditingkatkan kembali hingga mencapai 26,607 kV, diperoleh THD 2,010 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 27,863 kV, didapatkan besar THD 2,167 %.

Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 0,533; 0,620; 0,603; 0,587; 0,567; 0,537; 0,667.

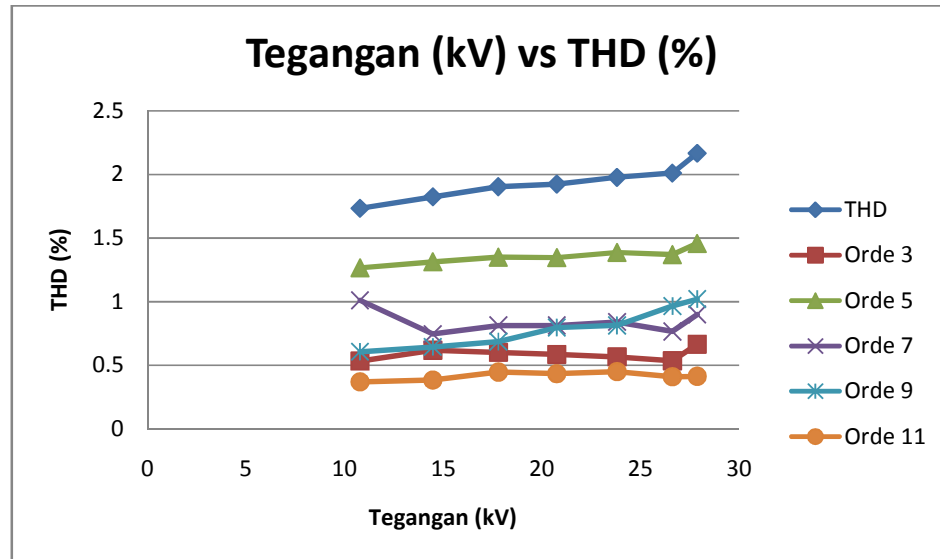
Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,267; 1,313; 1,350; 1,347; 1,387; 1,370; 1,457.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 1,010; 0,747; 0,813; 0,813; 0,840; 0,767; 0,900.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 0,607; 0,643; 0,687; 0,797; 0,813; 0,967; 1,020.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,370; 0,383; 0,447; 0,433; 0,450; 0,410; 0,413.

Perbandingan nilai kenaikan tegangan dan THD serta orde 3, orde 5, orde 7, orde 9, dan orde 11 ditunjukkan pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.2 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm dan jarak 6 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Dapat dilihat gradien THD yang cukup besar baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Peningkatan THD terbesar terlihat saat mendekati tegangan kegagalan.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 7. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 7 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 9, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Namun, saat korona terjadi, peningkatan nilai HD lebih besar dibandingkan dengan peningkatan saat sebelum korona.

Dapat dilihat dari grafik orde 9, dimana gradien HD saat korona lebih besar dibandingkan saat sebelum korona.

Untuk orde 11, terjadi ketidakaturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 11. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 11 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi, nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

4.1.3 Jarak 8 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 4 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 8 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.3 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm dan jarak 8 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,670	14,573	18,683	22,607	26,557	30,620	33,590
THD (%)	1,750	1,827	1,870	1,980	2,077	2,103	2,230
Orde 3	0,603	0,587	0,550	0,557	0,493	0,530	0,617
Orde 5	1,240	1,263	1,277	1,310	1,327	1,337	1,403
Orde 7	0,703	0,767	0,810	0,867	0,913	0,940	1,027
Orde 9	0,577	0,690	0,783	0,940	1,093	1,127	1,147
Orde 11	0,390	0,467	0,453	0,447	0,437	0,385	0,320

Besar THD saat tegangan awal 10,670 kV yaitu 1,750 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 14,573 kV dengan besar THD menjadi 1,827 %. Dengan menaikkan tegangan menjadi 18,863 kV diperoleh THD sebesar 1,870 %. Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 22,607 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 22,607 kV besar THD meningkat menjadi 1,980 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 26,557 kV, diperoleh besar THD 2,077 %. Lalu tegangan ditingkatkan kembali hingga mencapai 30,620 kV, diperoleh THD 2,103 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 33,590 kV, didapatkan besar THD 2,230 %.

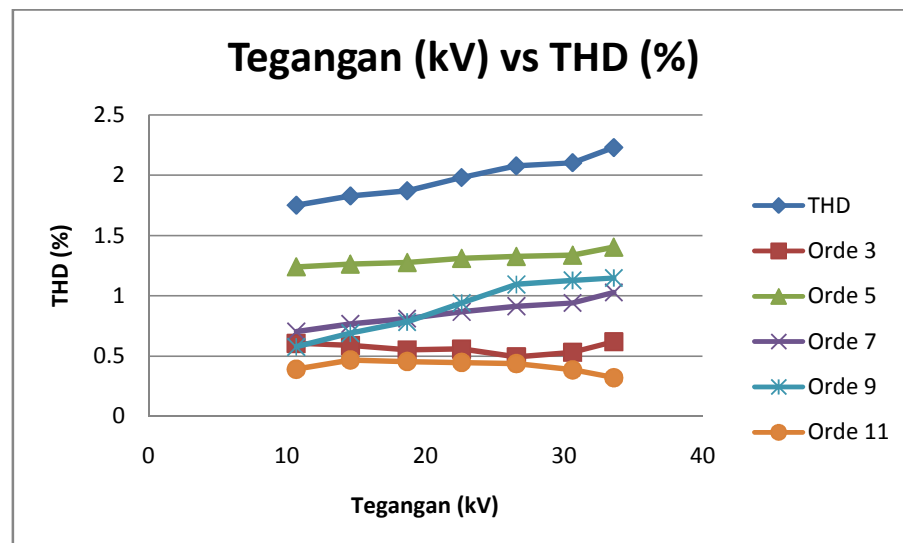
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 0,603; 0,587; 0,550; ,557; 0,493; 0,530; 0,617.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,240; 1,263; 1,277; 1,310; 1,327; 1,337; 1,403.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 0,703; 0,767; 0,810; 0,867; 0,913; 0,940; 1,027.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 0,577; 0,690; 0,783; 0,940; 1,093; 1,127; 1,147.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,390; 0,467; 0,453; 0,447; 0,437; 0,385; 0,320.



Gambar 4.3 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm dan jarak 8 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Namun, ketika korona belum terjadi, kenaikan THD relatif kecil dibandingkan dengan saat korona. Dari grafik terlihat bahwa gradien THD menjadi lebih besar saat korona dibandingkan saat sebelum korona.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Dapat dilihat grafik orde 7 yang mendekati linear. Namun, tidak terjadi perbedaan peningkatan yang cukup signifikan antara sebelum korona dan saat korona terjadi, dimana kenaikannya cenderung konstan dengan kenaikan tegangan.

Untuk orde 9, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Kemudian saat awal terjadi korona, terjadi peningkatan HD yang lebih besar dibandingkan saat sebelum terjadi korona. Namun, ketika tegangan terus ditingkatkan, gradien HD terlihat semakin kecil dibandingkan peningkatan sebelumnya. Dapat dilihat dari grafik orde 9 dimana gradien HD mengalami peningkatan dan kemudian penurunan saat mendekati tegangan kegagalan.

Untuk orde 11, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 11. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 11 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi, nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

4.1.4 Jarak 10 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 4 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 10 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.4 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm dan jarak 10 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,800	15,553	20,363	25,660	30,843	35,387	37,837
THD (%)	1,757	1,850	1,950	2,010	2,140	2,147	2,173
Orde 3	0,550	0,560	0,540	0,573	0,547	0,550	0,620
Orde 5	1,230	1,247	1,267	1,317	1,320	1,307	1,323
Orde 7	0,723	0,767	0,857	0,913	0,963	0,977	1,017
Orde 9	0,623	0,693	0,900	0,963	1,183	1,200	1,167
Orde 11	0,400	0,447	0,500	0,400	0,390	0,373	0,350

Besar THD saat tegangan awal 10,800 kV yaitu 1,757 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 15,553 kV dengan besar THD menjadi 1,850 %. Dengan menaikkan tegangan menjadi 20,363 diperoleh THD sebesar 1,950. Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 25,660 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 25,660 kV besar THD meningkat menjadi 2,010 %. Kemudian tegangan ditingkatkan lagi menjadi 30,843 kV, diperoleh besar THD 2,140 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 35,387 kV, diperoleh besar THD 2,147 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 37,837 kV, didapatkan besar THD 2,173 %.

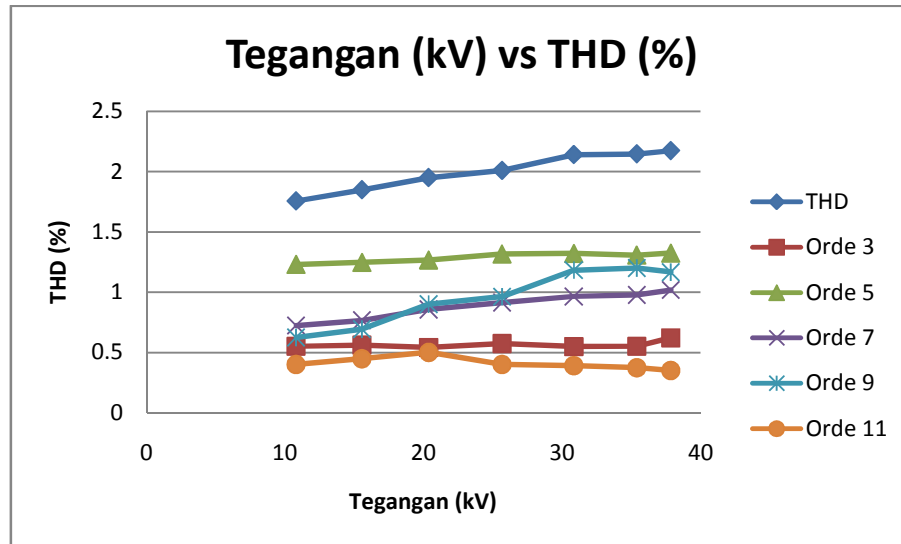
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 0,550; 0,560; 0,540; 0,573; 0,547; 0,550; 0,620.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,230; 1,247; 1,267; 1,317; 1,320; 1,307; 1,323.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 0,723; 0,767; 0,857; 0,913; 0,963; 0,977; 1,017.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 0,623; 0,693; 0,900; 0,963; 1,183; 1,200; 1,167.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,400; 0,447; 0,500; 0,400; 0,390; 0,373; 0,350.



Gambar 4.4 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 4 mm dan jarak 10 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Kemudian tegangan terus ditingkatkan hingga terjadi korona, dan diperoleh peningkatan THD yang lebih besar dibandingkan dengan sebelum korona. Namun, saat korona terjadi dan tegangan kembali ditingkatkan mendekati tegangan kegagalan, peningkatan THD menjadi lebih kecil dari sebelumnya. Ini dapat dilihat dari grafik THD dimana gradien THD mengalami peningkatan dan kemudian penurunan saat mendekati tegangan kegagalan.

Untuk orde 3, terjadi ketidakaturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Dapat dilihat grafik orde 7 yang mendekati linear. Namun, tidak terjadi perbedaan peningkatan yang cukup signifikan antara sebelum korona dan saat korona terjadi, dimana kenaikannya cenderung konstan dengan kenaikan tegangan.

Untuk orde 9, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Kemudian saat awal terjadi korona, terjadi peningkatan HD yang lebih besar dibandingkan saat sebelum terjadi korona. Namun, ketika tegangan terus ditingkatkan, gradien HD terlihat semakin kecil dibandingkan peningkatan sebelumnya. Kemudian nilai HD mengalami penurunan saat mendekati tegangan kegagalan. Penurunan nilai HD ini disebabkan oleh adanya saturasi saat tegangan terus ditingkatkan hingga sebelum terjadi kegagalan.

Untuk orde 11, nilai THD mengalami peningkatan saat sebelum korona. Namun peningkatan THD yang terjadi relatif kecil, ini terlihat dari grafik orde 11 dimana gradien HD dari orde 11 sangat kecil. Nilai HD orde 11 ini kemudian mengalami penurunan saat korona terjadi dan nilainya terus turun hingga mendekati tegangan kegagalan.

4.2 Pengujian Kawat Penghantar berdiameter 8 mm

Untuk kawat penghantar dengan diameter 8 mm dilakukan pengujian dengan variasi jarak antara kawat penghantar ke kubikel yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Untuk setiap jarak dilakukan 3 kali pengujian, kemudian akan diambil nilai rata - rata dari ketiga pengujian tersebut.

4.2.1 Jarak 4 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 8 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 4 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.5 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm dan jarak 4 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,247	12,250	14,197	16,270	17,300	18,193	19,157
THD (%)	1,927	1,953	2,003	2,053	2,087	2,113	2,110
Orde 3	0,467	0,580	0,763	0,707	0,607	0,537	0,627
Orde 5	1,420	1,430	1,487	1,497	1,463	1,480	1,527
Orde 7	0,353	0,397	0,477	0,470	0,447	0,427	0,483
Orde 9	0,787	0,780	0,700	0,823	0,950	1,027	0,943
Orde 11	0,577	0,557	0,463	0,557	0,657	0,697	0,600

Besar THD saat tegangan awal 10,247 kV yaitu 1,927 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 12,250 kV dengan besar THD menjadi 1,953 %. Dengan menaikkan tegangan menjadi 14,197 kV diperoleh THD sebesar 2,003. Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 16,270 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 16,270 kV besar THD meningkat menjadi 2,053 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 17,300 kV, diperoleh besar THD 2,087 %. Tegangan ditingkatkan lagi hingga menjadi 18,193 kV, didapatkan besar THD 2,113 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 19,157 kV, didapatkan besar THD 2,110 %.

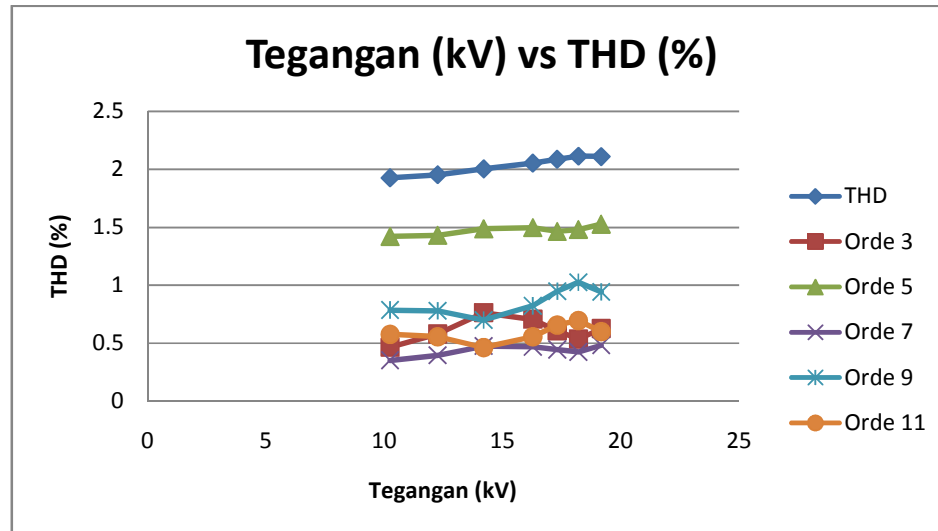
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 0,467; 0,580; 0,763; 0,707; 0,607; 0,537; 0,627.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,420; 1,430; 1,487; 1,497; 1,463; 1,480; 1,527.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 0,353; 0,397; 0,477; 0,470; 0,447; 0,427; 0,483.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 0,787; 0,780; 0,700; 0,823; 0,950; 1,027; 0,943.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,577; 0,557; 0,463; 0,557; 0,657; 0,697; 0,600.



Gambar 4.5 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm dan jarak 4 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Dari grafik terlihat bahwa peningkatan THD relatif konstan hingga saat sebelum tegangan dinaikkan mendekati tegangan kegagalan. Ketika tegangan ditingkatkan mendekati tegangan kegagalan, nilai THD mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan oleh adanya saturasi saat tegangan terus ditingkatkan hingga sebelum terjadi kegagalan.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, nilai dari HD yang dihasilkan cenderung konstan, dimana perubahan yang terjadi sangat kecil, ini dapat dilihat dari grafik orde 5. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 5 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 7, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 7. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 7 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 9, nilai HD mengalami penurunan dengan ditingkatkannya tegangan. Namun, nilai HD mengalami peningkatan ketika tegangan ditingkatkan hingga korona terjadi. Kemudian, nilai HD mengalami penurunan ketika tegangan ditingkatkan mendekati tegangan kegagalannya. Penurunan nilai HD ini disebabkan oleh adanya saturasi saat tegangan terus ditingkatkan hingga sebelum terjadi kegagalan.

Untuk orde 11, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 11. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 11 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi, nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

4.2.2 Jarak 6 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 8 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 6 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.6 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm dan jarak 6 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,323	13,463	16,793	18,500	20,337	22,350	23,750
THD (%)	1,877	1,917	1,973	1,993	2,020	2,047	2,040
Orde 3	0,440	0,563	0,613	0,547	0,580	0,577	0,607
Orde 5	1,357	1,413	1,453	1,430	1,437	1,467	1,460
Orde 7	0,400	0,443	0,447	0,413	0,480	0,507	0,520
Orde 9	0,733	0,730	0,770	0,897	0,923	0,963	0,987
Orde 11	0,607	0,573	0,570	0,640	0,613	0,560	0,517

Besar THD saat tegangan awal 10,323 kV yaitu 1,877 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 13,463 kV dengan besar THD menjadi 1,917 %. Dengan menaikkan tegangan menjadi 16,793 kV diperoleh THD sebesar 1,973.

Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 18,500 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 18,500 kV besar THD meningkat menjadi 1,993 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 20,337 kV, diperoleh besar THD 2,020 %. Tegangan ditingkatkan lagi hingga menjadi 22,350 kV, didapatkan besar THD 2,047 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 23,750 kV, didapatkan besar THD 2,040 %.

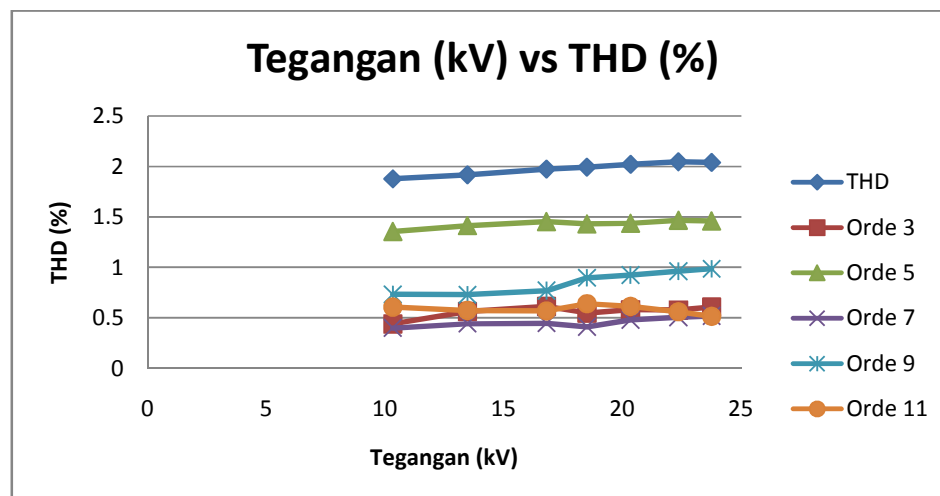
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 0,440; 0,563; 0,613; 0,547; 0,580; 0,577; 0,607.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,357; 1,413; 1,453; 1,430; 1,437; 1,467; 1,460.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 0,400; 0,443; 0,447; 0,413; 0,480; 0,507; 0,520.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 0,733; 0,730; 0,770; 0,897; 0,923; 0,963; 0,987.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,607; 0,573; 0,570; ,640; 0,613; 0,560; 0,517.



Gambar 4.6 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm dan jarak 6 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Dari grafik terlihat bahwa peningkatan THD relatif konstan hingga saat sebelum tegangan dinaikkan mendekati tegangan kegagalan. Ketika tegangan ditingkatkan mendekati tegangan kegagalan, nilai THD mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan oleh adanya saturasi saat tegangan terus ditingkatkan hingga sebelum terjadi kegagalan.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, nilai dari HD yang dihasilkan cenderung konstan, dimana perubahan yang terjadi sangat kecil, ini dapat dilihat dari grafik orde 5. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 5 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 7, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 7. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 7 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 9, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Namun, saat korona terjadi, peningkatan nilai HD lebih besar dibandingkan dengan peningkatan saat sebelum korona. Dapat dilihat dari grafik orde 9, dimana gradien HD saat korona lebih besar dibandingkan saat sebelum korona.

Untuk orde 11, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 11. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 11 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi, nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

4.2.3 Jarak 8 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 8 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 8 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.7 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm dan jarak 8 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,653	16,283	21,127	25,010	28,783	31,787	34,363
THD (%)	2,133	2,327	2,487	2,607	2,647	2,747	2,703
Orde 3	0,597	0,757	0,683	0,687	0,707	0,723	0,750
Orde 5	1,483	1,580	1,633	1,687	1,720	1,730	1,760
Orde 7	0,987	1,143	1,197	1,283	1,297	1,340	1,357
Orde 9	0,753	0,823	1,107	1,230	1,277	1,293	1,273
Orde 11	0,493	0,490	0,517	0,463	0,397	0,363	0,323

Besar THD saat tegangan awal 10,653 kV yaitu 2,133 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 16,283 kV dengan besar THD menjadi 2,327 %. Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 21,127 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 21,127 kV besar THD meningkat menjadi 2,487 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 25,010 kV, diperoleh besar THD 2,607 %. Tegangan ditingkatkan lagi hingga menjadi 28,783 kV, didapatkan besar THD 2,647 %. Kemudian tegangan ditingkatkan lagi menjadi 31,787, dan diperoleh besar THD 2,747 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 34,363 kV, didapatkan besar THD 2,703 %.

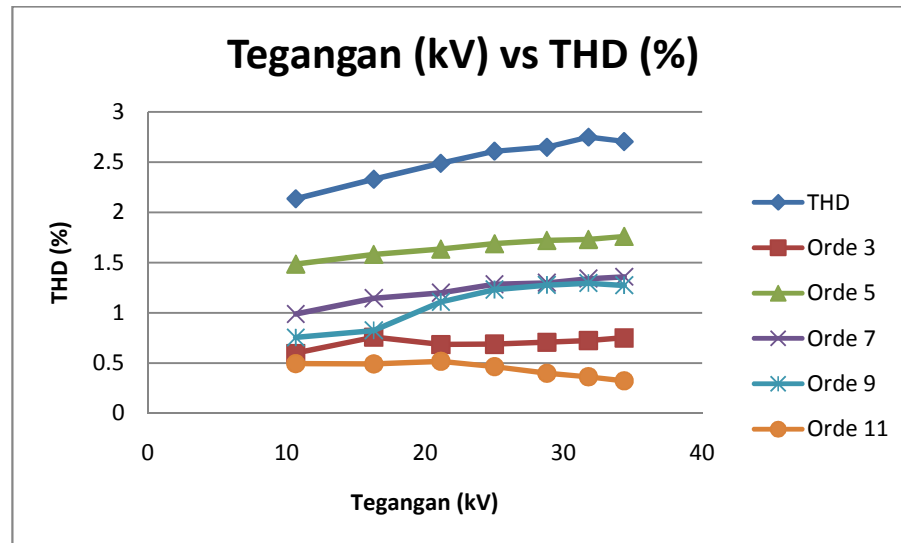
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 0,597; 0,757; 0,683; 0,687; 0,707; 0,723; 0,750.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,483; 1,580; 1,633; 1,687; 1,720; 1,730; 1,760.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 0,987; 1,143; 1,197; 1,283; 1,297; 1,340; 1,357.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 0,753; 0,823; 1,107; 1,230; 1,277; 1,293; 1,273.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,493; 0,490; 0,517; 0,463; 0,397; 0,363; 0,323.



Gambar 4.7 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm dan jarak 8 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Dari grafik terlihat bahwa peningkatan THD relatif konstan hingga saat sebelum tegangan dinaikkan mendekati tegangan kegagalan. Ketika tegangan ditingkatkan mendekati tegangan kegagalan, nilai THD mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan oleh adanya saturasi saat tegangan terus ditingkatkan hingga sebelum terjadi kegagalan.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat

sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Dapat dilihat grafik orde 7 yang mendekati linear. Peningkatan HD orde 7 mengalami penurunan ketika korona terjadi. Namun, tidak terjadi perbedaan peningkatan yang cukup signifikan antara sebelum korona dan saat korona terjadi, dimana kenaikannya cenderung konstan dengan kenaikan tegangan.

Untuk orde 9, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Kemudian saat awal terjadi korona, terjadi peningkatan HD yang lebih besar dibandingkan saat sebelum terjadi korona. Namun, ketika tegangan terus ditingkatkan, gradien HD terlihat semakin kecil dibandingkan peningkatan sebelumnya. Kemudian nilai HD mengalami penurunan saat mendekati tegangan kegagalan. Penurunan nilai HD ini disebabkan oleh adanya saturasi saat tegangan terus ditingkatkan hingga sebelum terjadi kegagalan.

Untuk orde 11, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 11. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 11 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi, nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

4.2.4 Jarak 10 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 8 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 10 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.8 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm dan jarak 10 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	11,093	16,170	21,103	24,883	28,890	32,673	35,550
THD (%)	2,380	2,530	2,677	2,763	2,923	2,990	3,063
Orde 3	0,890	0,967	0,943	0,990	0,953	1,000	0,973
Orde 5	1,683	1,727	1,727	1,760	1,827	1,877	1,913
Orde 7	0,913	0,990	1,080	1,120	1,177	1,223	1,273
Orde 9	0,887	1,040	1,313	1,370	1,623	1,647	1,717
Orde 11	0,430	0,487	0,520	0,460	0,410	0,347	0,360

Besar THD saat tegangan awal 11,093 kV yaitu 2,380 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 16,170 kV dengan besar THD menjadi 2,530 %. Lalu tegangan ditingkatkan menjadi 21,103 kV, diperoleh besar THD 2,677 %. Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 24,883 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 24,883 kV besar THD meningkat menjadi 2,763 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 28,890 kV, diperoleh besar THD 2,923 %. Tegangan ditingkatkan lagi hingga menjadi 32,673 kV, didapatkan besar THD 2,990 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 35,550 kV, didapatkan besar THD 3,063 %.

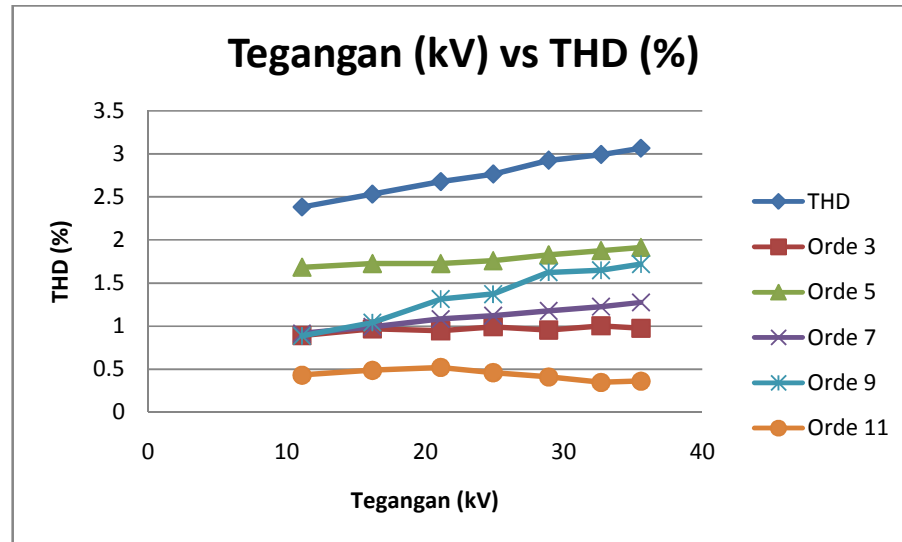
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 0,890; 0,967; 0,943; 0,990; 0,953; 1,00; 0,973.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,683; 1,727; 1,727; 1,760; 1,827; 1,877; 1,913.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 0,913; 0,990; 1,080; 1,120; 1,177; 1,223; 1,273.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 0,887; 1,040; 1,313; 1,370; 1,623; 1,647; 1,717.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,430; 0,487; 0,520; 0,460; 0,410; 0,347; 0,360.



Gambar 4.8 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 8 mm dan jarak 10 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Peningkatan nilai THD relatif konstan baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dapat dilihat bahwa grafik THD yang dihasilkan cenderung linear.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Dapat dilihat grafik orde 7 yang mendekati linear. Namun, tidak terjadi perbedaan peningkatan yang cukup signifikan antara sebelum korona dan saat korona terjadi, dimana kenaikannya cenderung konstan dengan kenaikan tegangan.

Untuk orde 9, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Dari grafik orde 9 terlihat nilai HD yang

terus meningkat. Namun ketika mendekati tegangan kegagalan, gradien THD yang dihasilkan menjadi semakin kecil.

Untuk orde 11, terjadi ketidakaturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 11. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 11 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi, nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

4.3 Pengujian Kawat Penghantar Berdiameter 15 mm

Untuk kawat penghantar dengan diameter 15 mm dilakukan pengujian dengan variasi jarak antara kawat penghantar ke kubikel yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Untuk setiap jarak dilakukan 3 kali pengujian, kemudian akan diambil nilai rata - rata dari ketiga pengujian tersebut.

4.3.1 Jarak 4 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 15 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 4 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 6 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.9 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm dan jarak 4 cm

Data	1	2	3	4	5	6
V (kV)	10,343	12,227	14,203	16,313	18,177	20,217
THD (%)	2,777	2,847	2,917	2,977	3,080	3,180
Orde 3	1,407	1,543	1,573	1,497	1,467	1,500
Orde 5	1,553	1,583	1,623	1,620	1,617	1,670
Orde 7	1,277	1,287	1,320	1,387	1,440	1,497
Orde 9	1,110	1,097	1,140	1,303	1,503	1,573
Orde 11	0,360	0,330	0,343	0,380	0,443	0,413

Besar THD saat tegangan awal 10,343 kV yaitu 2,777 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 12,227 kV dengan besar THD menjadi 2,847 %. Lalu tegangan ditingkatkan menjadi 14,203 kV, diperoleh besar THD 2,917 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 16,313 kV, diperoleh besar THD 2,977 %. Tegangan ditingkatkan lagi hingga menjadi 18,177 kV, didapatkan

besar THD 3,080 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 20,217 kV, didapatkan besar THD 3,180 %. Saat inilah baru terdengar suara desisan. kemudian segera diikuti dengan pelepasan korona (discharge) ketika tegangan dinaikkan sebesar 1 kV.

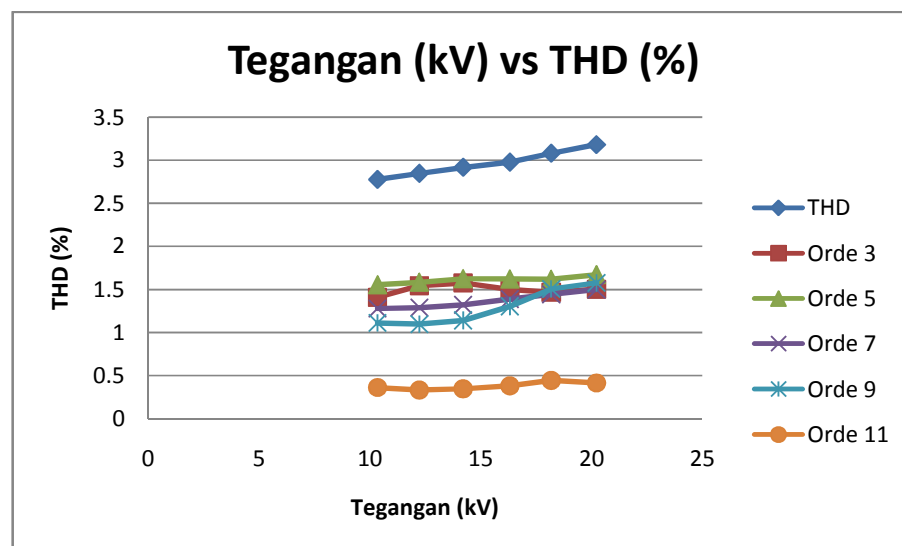
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 1,407; 1,543; 1,573; 1,497; 1,467; 1,500.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,553; 1,583; 1,623; 1,620; 1,617; 1,670.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 1,277; 1,287; 1,320; 1,387; 1,440; 1,497.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 1,110; 1,097; 1,140; 1,303; 1,503; 1,573.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,360; 0,330; 0,343; 0,380; 0,443; 0,413.



Gambar 4.9 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm dan jarak 4 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Peningkatan nilai THD relatif konstan baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dapat dilihat bahwa grafik THD yang dihasilkan cenderung linear.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Dapat dilihat grafik orde 7 yang mendekati linear. Namun, tidak terjadi perbedaan peningkatan yang cukup signifikan antara sebelum korona dan saat korona terjadi, dimana kenaikannya cenderung konstan dengan kenaikan tegangan.

Untuk orde 9, dapat dilihat dari grafik diatas bahwa awalnya HD yang dihasilkan cenderung konstan, namun ketika tegangan terus dinaikkan terjadi peningkatan HD yang cukup besar. Sampai akhirnya peningkatan HD menjadi lebih kecil ketika tegangan dinaikkan mendekati tegangan kegagalan. Ini terlihat dari gradien HD yang menjadi lebih kecil ketika tegangan dinaikkan sampai mendekati tegangan kegagalan.

Untuk orde 11, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 11. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 11 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi, nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

4.3.2 Jarak 6 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 15 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 4 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada

setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.10 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm dan jarak 6 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,310	14,533	16,373	18,360	20,050	22,243	23,603
THD (%)	2,897	3,023	3,103	3,213	3,217	3,350	3,383
Orde 3	1,527	1,610	1,507	1,577	1,680	1,667	1,653
Orde 5	1,653	1,687	1,687	1,710	1,717	1,753	1,777
Orde 7	1,263	1,280	1,363	1,383	1,373	1,447	1,463
Orde 9	1,113	1,273	1,473	1,587	1,537	1,710	1,757
Orde 11	0,420	0,493	0,543	0,530	0,447	0,453	0,453

Besar THD saat tegangan awal 10,310 kV yaitu 2,897 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 14,533 kV dengan besar THD menjadi 3,023 %. Lalu tegangan ditingkatkan menjadi 16,373 kV, diperoleh besar THD 3,103 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 18,360 kV, diperoleh besar THD 3,213 %. Tegangan ditingkatkan lagi hingga menjadi 20,050 kV, didapatkan besar THD 3,217 %. Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 22,243 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 22,243 kV besar THD meningkat menjadi 3,350 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 23,603 kV, didapatkan besar THD 3,383 %.

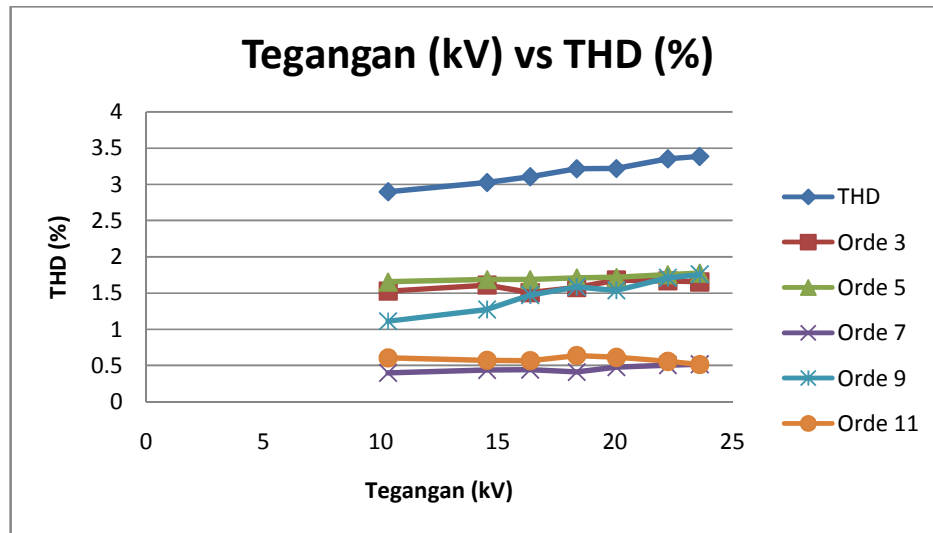
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 1,527; 1,610; 1,507; 1,577; 1,680; 1,667; 1,653.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,653; 1,687; 1,687; 1,710; 1,717; 1,753; 1,777.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 1,263; 1,280; 1,363; 1,383; 1,373; 1,447; 1,463.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 1,113; 1,273; 1,473; 1,587; 1,537; 1,710; 1,757.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,420; 0,493; 0,543; 0,530; 0,447; 0,453; 0,453.



Gambar 4.10 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm dan jarak 6 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Peningkatan nilai THD relatif konstan baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dapat dilihat bahwa grafik THD yang dihasilkan cenderung linear.

Untuk orde 3, terjadi ketidakaturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, baik saat sebelum maupun sesudah korona. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan, namun peningkatan yang dihasilkan relatif kecil. Dapat dilihat grafik orde 7 yang mendekati linear. Namun, tidak terjadi perbedaan peningkatan yang cukup signifikan antara sebelum korona dan saat korona terjadi, dimana kenaikannya cenderung konstan dengan kenaikan tegangan.

Untuk orde 9, HD yang dihasilkan terus meningkat dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan, sekali mengalami penurunan namun relatif sangat kecil. Kemudian nilai HD meningkat lebih tinggi saat korona terjadi. Dari grafik terlihat bahwa gradien HD orde 9 cenderung berubah – ubah nilainya.

Untuk orde 11, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 11. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 11 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi, nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun.

4.3.3 Jarak 8 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 15 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 8 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.11 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm dan jarak 8 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,650	15,803	20,610	24,537	28,520	32,500	35,157
THD (%)	2,747	2,997	3,167	3,280	3,487	3,543	3,580
Orde 3	1,383	1,503	1,510	1,553	1,500	1,543	1,540
Orde 5	1,673	1,747	1,770	1,790	1,817	1,837	1,910
Orde 7	1,103	1,190	1,270	1,310	1,410	1,103	1,500
Orde 9	1,103	1,370	1,637	1,780	2,097	2,130	2,097
Orde 11	0,360	0,433	0,417	0,363	0,360	0,307	0,263

Besar THD saat tegangan awal 10,650 kV yaitu 2,747 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 15,803 kV dengan besar THD menjadi 2,997 %. Lalu tegangan ditingkatkan menjadi 20,610 kV, diperoleh besar THD 3,167 %.

Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 24,537 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 24,537 kV besar THD meningkat menjadi 3,280 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi 28,520 kV, diperoleh besar THD 3,487 %. Tegangan ditingkatkan lagi hingga menjadi 32,500 kV, didapatkan besar THD 3,543 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 35,157 kV, didapatkan besar THD 3,580 %.

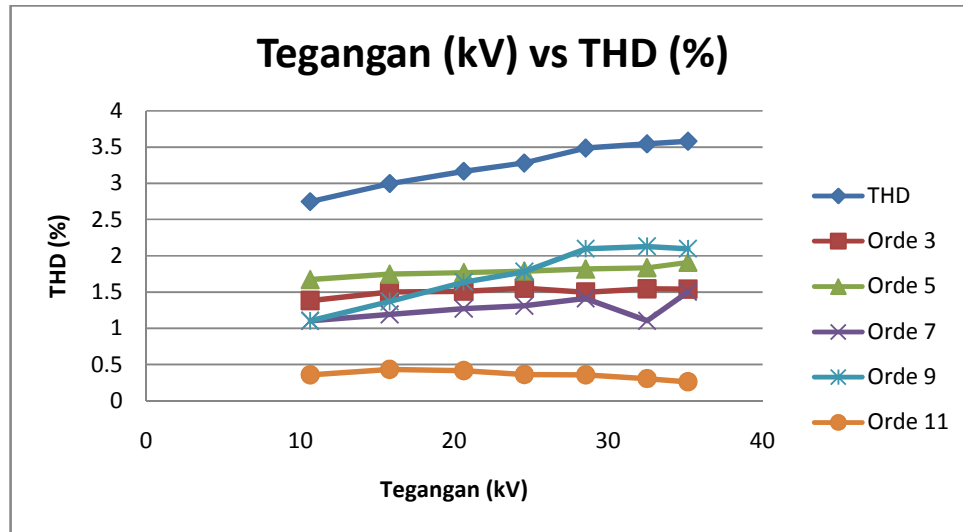
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 1,383; 1,503; 1,510; 1,553; 1,500; 1,543; 1,540.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,673; 1,747; 1,770; 1,790; 1,817; 1,837; 1,910.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 1,103; 1,190; 1,270; 1,310; 1,410; 1,103; 1,500.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 1,103; 1,370; 1,637; 1,780; 2,097; 2,130; 2,097.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,360; 0,433; 0,417; 0,363; 0,360; 0,307; 0,263.



Gambar 4.11 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm dan jarak 8 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Peningkatan nilai THD relatif konstan baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dapat dilihat bahwa grafik THD yang dihasilkan cenderung linear. Namun saat tegangan terus ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan, peningkatan THD relatif lebih kecil. Ini terlihat dari grafik, dimana gradien THD menjadi lebih kecil.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun dengan perubahan nilai yang relatif kecil.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, saat sebelum korona terjadi. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan, sekali mengalami penurunan saat tegangan ditingkatkan saat sebelum diberikan tegangan yang mendekati kegagalan. Namun peningkatan yang dihasilkan relatif kecil. Dapat dilihat grafik orde 7 yang mendekati linear. Namun, tidak terjadi perbedaan peningkatan yang

cukup signifikan antara sebelum korona dan saat korona terjadi, dimana kenaikannya cenderung konstan dengan kenaikan tegangan.

Untuk orde 9, HD yang dihasilkan terus meningkat dengan dinaikannya tegangan yang diberikan. Kemudian nilai HD meningkat lebih tinggi saat korona terjadi. Kemudian nilai HD menurun saat tegangan ditingkatkan mendekati tegangan kegagalan. Penurunan ini disebabkan oleh adanya saturasi, sebelum terjadinya kegagalan akibat peningkatan tegangan secara terus – menerus. Dari grafik terlihat bahwa gradien HD orde 9 cenderung berubah – ubah nilainya.

Untuk orde 11, HD yang dihasilkan cenderung turun nilainya ketika tegangan terus ditingkatkan. Dapat dilihat dari grafik orde 11, yang mengalami penurunan nilai HD seiring dengan ditingkatkannya tegangan.

4.3.4 Jarak 10 cm

Untuk kawat penghantar berdiameter 15 mm dan jarak antara kawat penghantar dan kubikel sebesar 10 cm dilakukan 3 kali pengujian dimana pada setiap pengujian terdiri dari 7 tahap kenaikan tegangan. diperoleh data nilai THD dan distorsi harmonik orde 3, 5, 7, 9, dan 11 (dalam %) sebagai berikut.

Tabel 4.12 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm dan jarak 10 cm

Data	1	2	3	4	5	6	7
V (kV)	10,533	15,880	20,777	25,663	30,453	34,423	37,983
THD (%)	2,803	2,953	3,200	3,343	3,403	3,580	3,653
Orde 3	1,347	1,463	1,410	1,423	1,507	1,480	1,453
Orde 5	1,730	1,790	1,840	1,837	1,867	1,890	1,937
Orde 7	1,167	1,203	1,347	1,407	1,440	1,540	1,610
Orde 9	1,127	1,267	1,660	1,887	1,897	2,130	2,180
Orde 11	0,393	0,373	0,407	0,357	0,257	0,250	0,237

Besar THD saat tegangan awal 10,533 kV yaitu 2,803 %, kemudian tegangan dinaikkan menjadi 15,880 kV dengan besar THD menjadi 2,953 %. Lalu tegangan ditingkatkan menjadi 20,770 kV, diperoleh besar THD 3,200 %. Kemudian ketika tegangan dinaikkan menjadi 25,663 kV mulai terdengar suara desisan yang menandakan terjadinya korona. Saat tegangan 25,663 kV besar THD meningkat menjadi 3,343 %. Kemudian tegangan terus ditingkatkan menjadi

30,453 kV, diperoleh besar THD 3,403 %. Tegangan ditingkatkan lagi hingga menjadi 34,423 kV, didapatkan besar THD 3,580 %. Selanjutnya tegangan ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan yaitu sampai 37,983 kV, didapatkan besar THD 3,653 %.

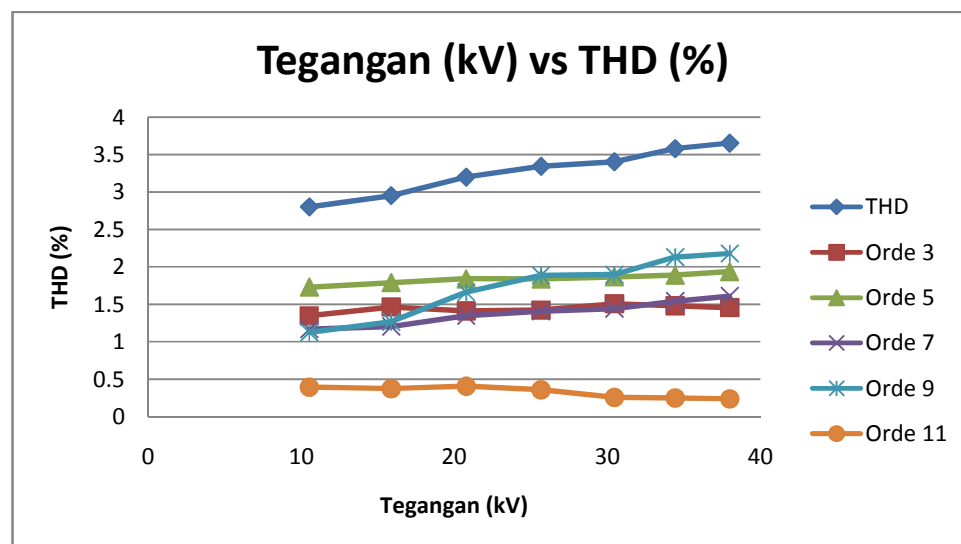
Untuk orde 3, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 3 berturut – turut yaitu 1,347; 1,463; 1,410; 1,423; 1,507; 1,480; 1,453.

Untuk orde 5, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 5 berturut – turut yaitu 1,730; 1,790; 1,840; 1,837; 1,867; 1,890; 1,937.

Untuk orde 7, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 7 berturut – turut yaitu 1,167; 1,203; 1,347; 1,407; 1,440; 1,540; 1,610.

Untuk orde 9, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 9 berturut – turut yaitu 1,127; 1,267; 1,660; 1,887; 1,897; 2,130; 2,180.

Untuk orde 11, dengan tegangan awal dan kenaikan tegangan yang sama seperti diatas diperoleh nilai distorsi harmonik pada orde 11 berturut – turut yaitu 0,393; 0,373; 0,407; 0,357; 0,257; 0,250; 0,230.



Gambar 4.12 Tegangan dan THD serta HD pada penghantar 15 mm dan jarak 10 cm

Dari grafik terlihat bahwa besar THD mengalami peningkatan dengan dinaikkannya tegangan. Peningkatan nilai THD relatif konstan baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dapat dilihat bahwa grafik THD yang dihasilkan cenderung linear. Namun saat tegangan terus ditingkatkan hingga mendekati tegangan kegagalan, peningkatan THD relatif lebih kecil. Ini terlihat dari grafik, dimana gradien THD menjadi lebih kecil.

Untuk orde 3, terjadi ketidakteraturan nilai dari HD yang dihasilkan, ini dapat dilihat dari grafik orde 3. Kenaikan tegangan tidak memberikan pengaruh yang berarti pada nilai HD orde 3 tersebut. Begitu pula saat korona terjadi nilai HD yang dihasilkan cenderung naik – turun dengan perubahan nilai yang relatif kecil.

Untuk orde 5, memiliki nilai HD terbesar, saat sebelum korona terjadi. Namun, gradien HD dari orde 5 ini relatif kecil, baik saat sebelum korona maupun saat korona terjadi. Dengan kata lain, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada nilai HD orde 5 ketika terjadi korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan terus meningkat seiring dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Namun peningkatan yang dihasilkan relatif kecil. Dapat dilihat grafik orde 7 yang mendekati linear. Namun, tidak terjadi perbedaan peningkatan yang cukup signifikan antara sebelum korona dan saat korona terjadi, dimana kenaikannya cenderung konstan dengan kenaikan tegangan.

Untuk orde 9, HD yang dihasilkan terus meningkat dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Kemudian nilai HD meningkat lebih tinggi saat korona terjadi. Kemudian ketika mendekati tegangan kegagalan, didapatkan gradien HD yang menjadi lebih kecil. Dari grafik terlihat bahwa gradien HD orde 9 cenderung berubah – ubah nilainya.

Untuk orde 11, HD yang dihasilkan cenderung turun nilainya ketika tegangan terus ditingkatkan. Dapat dilihat dari grafik orde 11, yang mengalami penurunan nilai HD seiring dengan ditingkatkannya tegangan.

4.4 Analisa Hasil Pengujian

Dari data pengujian yang diperoleh dapat dianalisa bahwa semakin tinggi tegangan yang diterapkan pada suatu kawat penghantar akan diperoleh nilai *distorsi harmonik total* (THD) yang cenderung semakin meningkat. Peningkatan THD ini sebanding dengan semakin banyaknya tumbukkan elektron yang terjadi. Ini dikarenakan dengan semakin meningkatnya tegangan yang diberikan, maka energi yang dimiliki elektron untuk melakukan tumbukkan semakin besar, sehingga percepatan yang dimiliki elektron pun akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya energi yang diberikan. Namun, tumbukkan elektron yang dihasilkan akan semakin banyak jika kecepatan elektron optimum, bukan maksimum. Kecepatan optimum akan mengakibatkan tumbukkan elektron dan atom yang dihasilkan menjadi maksimum, ini dikenal dengan kebolehdjadian ionisasi. Efektifitas dari ionisasi sangat ditentukan dari tegangan yang diberikan (persamaan 2.1).

Ketika korona terjadi, THD yang dihasilkan akan cenderung mengalami peningkatan lebih besar dibandingkan saat sebelum korona. Besar THD akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas suara bising yang dihasilkan saat korona. Intensitas suara bising ini semakin keras jika tumbukkan elektron yang terjadi semakin banyak dan semakin kencang. Tumbukkan ini semakin kencang dan banyak jika kecepatan yang dimiliki elektron optimum. Kecepatan optimum ini tergantung dari tegangan yang diberikan. Jika tegangan yang diberikan kurang dari tegangan optimum, maka tumbukkan yang dihasilkan menjadi tidak maksimal. Dan jika tegangan yang diberikan melebihi tegangan optimumnya, maka tumbukkan yang dihasilkan menjadi semakin menurun jumlahnya. Besar THD akan mengalami saturasi ketika tegangan dinaikkan sudah sangat mendekati tegangan kegagalan, hal ini dikarenakan jumlah elektron bebas untuk ionisasi semakin sedikit. Selanjutnya ketika THD sudah mengalami saturasi dan tegangan terus ditingkatkan sampai tegangan kegagalan (*breakdown voltage*), akan menyebabkan terjadinya pelepasan korona (*discharge*).

Untuk orde 3, nilai HD yang dihasilkan pada orde 3 nilainya tidak beraturan pada setiap pengujian, sehingga dapat dikatakan nilai dari HD orde 3 tidak terpengaruh oleh korona. Namun, nilai HD dari orde 3 cenderung

mengalami peningkatan jika diameter kawat penghantar yang digunakannya semakin besar.

Untuk orde 5, nilai HD yang dihasilkan pada orde 5 merupakan yang terbesar dibandingkan dengan orde – orde lainnya. Nilai HD orde 5 tidak mengalami perubahan yang cukup berarti akibat peningkatan tegangan atau terjadinya korona. Besar nilai HD orde 5 ini diakibatkan dari adanya saturasi dari inti transformator daya yang digunakan. Dapat disimpulkan bahwa nilai HD orde 5 tidak terpengaruh oleh korona.

Untuk orde 7, nilai HD yang dihasilkan memiliki hubungan yang cenderung linear dengan kenaikan tegangan. Peningkatan HD saat sebelum korona dan saat terjadi korona memiliki nilai yang sama, ini terlihat dari gradien orde 7 pada setiap pengujian yang cenderung mengalami peningkatan linear dari saat tegangan awal diberikan hingga ditingkatkan mendekati tegangan gagal. Nilai HD dari orde 7 ini tidak terlalu terpengaruh oleh terjadinya korona.

Untuk orde 9, nilai HD yang dihasilkan cenderung terus meningkat dengan dengan ditingkatkannya tegangan yang diberikan. Kemudian, saat terjadi korona, HD orde 9 mengalami peningkatan lebih pesat dibandingkan saat sebelum korona. Ini terlihat dari gradien HD yang semakin besar ketika korona terjadi. Dapat dikatakan bahwa korona memengaruhi nilai HD orde 9. Nilai HD orde 9 juga mengalami saturasi jika tegangan yang diberikan mendekati tegangan kegagalan. Hal ini disebabkan, elektron bebas yang ada jumlahnya semakin berkurang sehingga efektifitas dari ionisasi semakin berkurang.

Untuk orde 11, nilai HD yang dihasilkan pada orde 11 nilainya tidak beraturan pada setiap pengujian, sehingga dapat dikatakan nilai dari HD orde 11 tidak terpengaruh oleh korona.

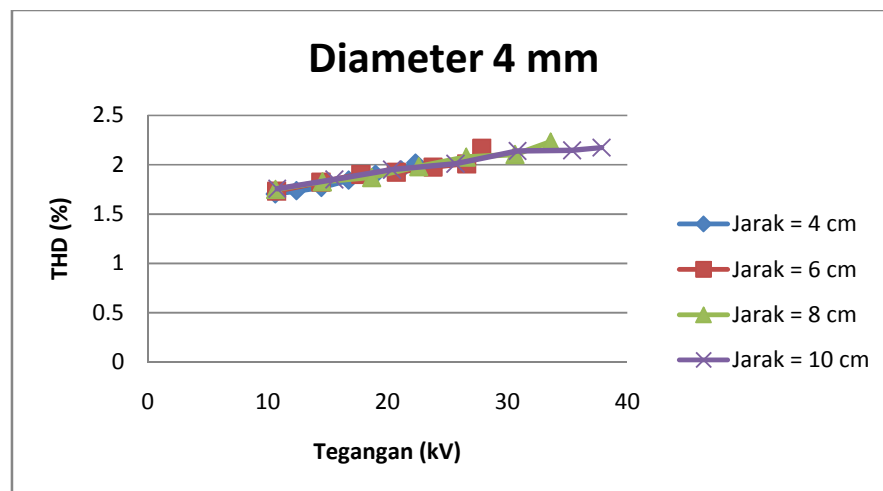
Berdasarkan pengamatan dari data yang diperoleh didapatkan bahwa nilai THD terus meningkat dikarenakan peningkatan dari nilai HD orde 9. Ketika THD terus meningkat nilai HD orde 3, 5, dan 11 cenderung tidak beraturan dan mengalami perubahan yang tidak signifikan. Untuk HD orde 7 nilainya terus meningkat, namun gradien peningkatan yang dihasilkan sangat kecil berbeda dengan gradien dari HD orde 9.

4.5 Analisa Pengaruh Perbedaan Jarak antar Kawat Penghantar dengan Kubikel Terhadap Besar THD yang Dihasilkan

Dari data pengujian diperoleh data THD dari tiap diameter kawat penghantar dengan variasi jarak 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Berikut merupakan analisa pengaruh perbedaan jarak terhadap THD yang dihasilkan untuk setiap diameter kawat penghantar yang digunakan.

4.5.1 Diameter 4 mm

Berikut merupakan grafik THD yang dihasilkan untuk masing – masing jarak yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm pada kawat berdiameter 4 mm.

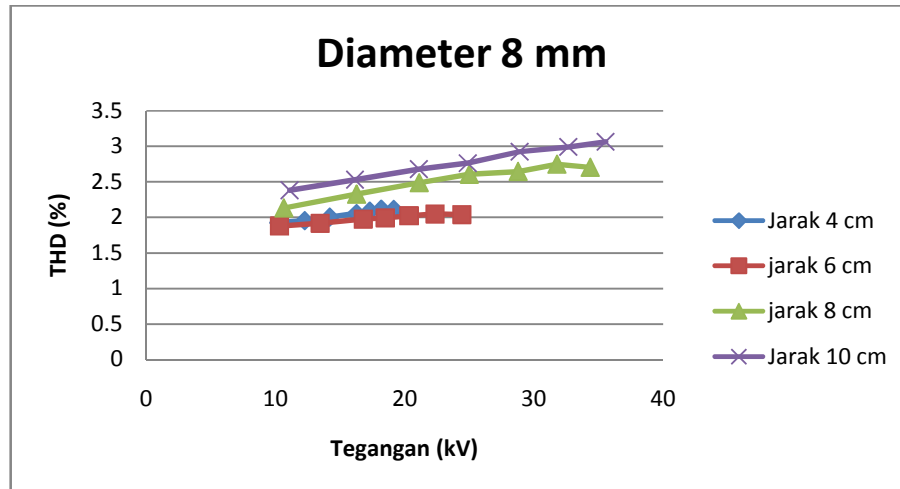


Gambar 4.13 Pengaruh jarak terhadap THD pada kawat berdiameter 4 mm

Dari gambar diatas terlihat bahwa, grafik THD untuk setiap perbedaan jarak saling berimpitan dan mempunyai gradien yang hampir sama untuk setiap perbedaan jarak. Ini dikarenakan pada kawat berdiameter kecil, penambahan jarak celah tidak terlalu berpengaruh terhadap timbulnya berbagai ketidakseragaman medan. Dimana pemusatan muatan yang dihasilkan cenderung tetap, sehingga penambahan kanal yang dihasilkan dari proses ionisasi hanya sedikit sekali.

4.5.2 Diameter 8 mm

Berikut merupakan grafik THD yang dihasilkan untuk masing – masing jarak yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm pada kawat berdiameter 8 mm.



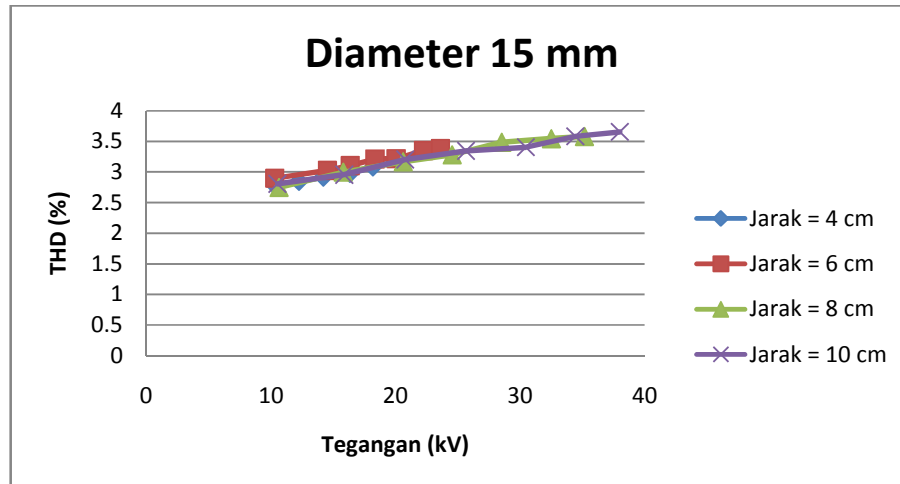
Gambar 4.14 Pengaruh jarak terhadap THD pada kawat berdiameter 8 mm

Dari gambar diatas terlihat bahwa, grafik THD pada jarak 4 cm dan 6 cm saling berimpitan dan mempunyai gradien yang hampir sama. Ini dikarenakan pada penambahan jarak yang diberikan dari 4 cm menjadi 6 cm, tidak memberikan pengaruh terhadap timbulnya ketidakseragaman medan. Dengan demikian, penambahan kanal yang dihasilkan dari proses ionisasi hanya sedikit sekali.

Ketika jarak ditingkatkan menjadi 8 cm dan kemudian 10 cm, didapatkan kenaikan THD yang menjadi semakin besar. Ini disebabkan, peningkatan jarak celah antar kawat mulai dapat menyebabkan distribusi medan menjadi lebih tak seragam, sehingga pemusatan muatan yang terjadi menjadi lebih banyak. Dengan demikian akan semakin banyak elektron yang dapat terionisasi dan semakin banyak kanal – kanal yang akan terbentuk.

4.5.3 Diameter 15 mm

Berikut merupakan grafik THD yang dihasilkan untuk masing – masing jarak yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm pada kawat berdiameter 15 mm.



Gambar 4.15 Pengaruh jarak terhadap THD pada kawat berdiameter 15 mm

Nilai THD yang dihasilkan cenderung berimpit ketika sebelum terjadi korona, ini dikarenakan sebelum korona medan yang dihasilkan merupakan medan seragam, sehingga elektron yang terionisasi tersebar merata, sehingga tidak terpengaruh terhadap perbedaan jarak celah. Namun ketika terjadi korona, nilai THD cenderung semakin meningkat sebanding dengan jarak celah antar kawat penghantar tersebut.

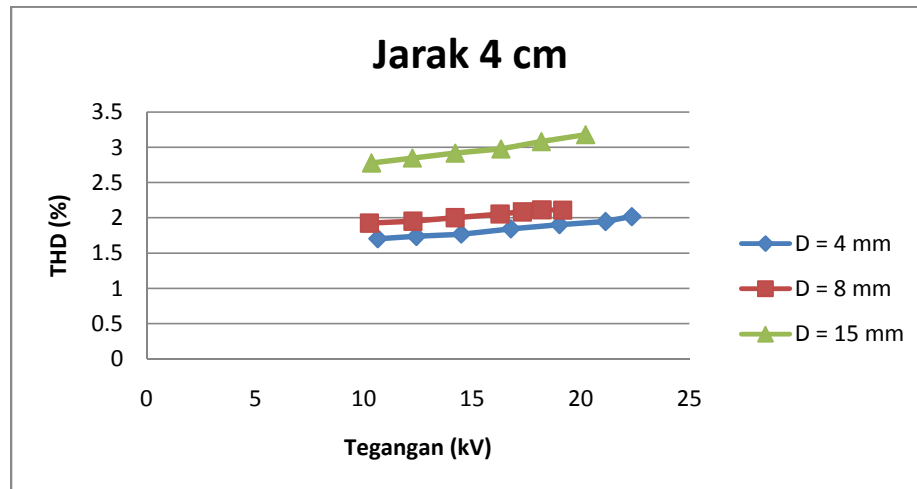
Dengan diameter kawat yang cukup besar (15 mm), menyebabkan tegangan terjadinya korona pada jarak 4 cm dan 6 cm sangat dekat dengan tegangan kegagalan dimana akan segera terjadi proses pelepasan. Namun, ketika jarak celah mulai ditingkatkan menjadi 8 cm dan kemudian 10 cm, korona terjadi pada tegangan cukup jauh dibawah tegangan kegagalan. Dengan terjadinya korona akan dihasilkan ketidakseragaman medan.

4.6 Analisa Pengaruh Perbedaan Diameter Kawat Penghantar Terhadap Besar THD yang Dihasilkan

Dari data pengujian dapat diperoleh data THD dari tiap jarak kawat penghantar dengan variasi diameter 4 mm, 8 cm, dan 15 mm. Berikut merupakan analisa pengaruh perbedaan diameter kawat terhadap THD yang dihasilkan untuk setiap jarak yang diberikan.

4.6.1 Jarak 4 cm

Berikut merupakan grafik THD yang dihasilkan untuk masing – masing diameter yaitu 4 mm, 8 mm, dan 15 mm dengan jarak antar kawat penghantar ke kubikel sebesar 4 cm.



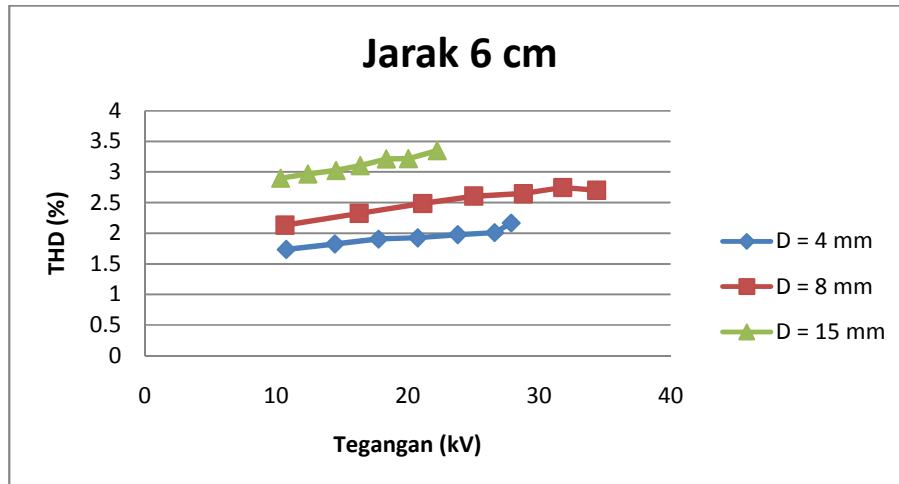
Gambar 4.16 Pengaruh diameter terhadap THD dengan jarak celah 4 cm

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada jarak yang sama, semakin besar diameter kawat yang digunakan, semakin besar THD yang dihasilkan. Ini disebabkan semakin besar diameter, akan menghasilkan ketidakseragaman yang lebih banyak dengan adanya pemusatan – pemusatan elektron yang lebih banyak pada kawat tersebut. Dengan semakin banyaknya pemusatan elektron yang ada, maka ionisasi yang dihasilkan pun semakin banyak, sehingga kanal yang terbentukpun semakin banyak.

Pada grafik terlihat bahwa gradien THD pada diameter 15 mm, merupakan yang terbesar, kemudian diikuti oleh diameter 4 mm dan gradien terkecil pada kawat 8 mm.

4.6.2 Jarak 6 cm

Berikut merupakan grafik THD yang dihasilkan untuk masing – masing diameter yaitu 4 mm, 8 mm, dan 15 mm dengan jarak antar kawat penghantar ke kubikel sebesar 6 cm.



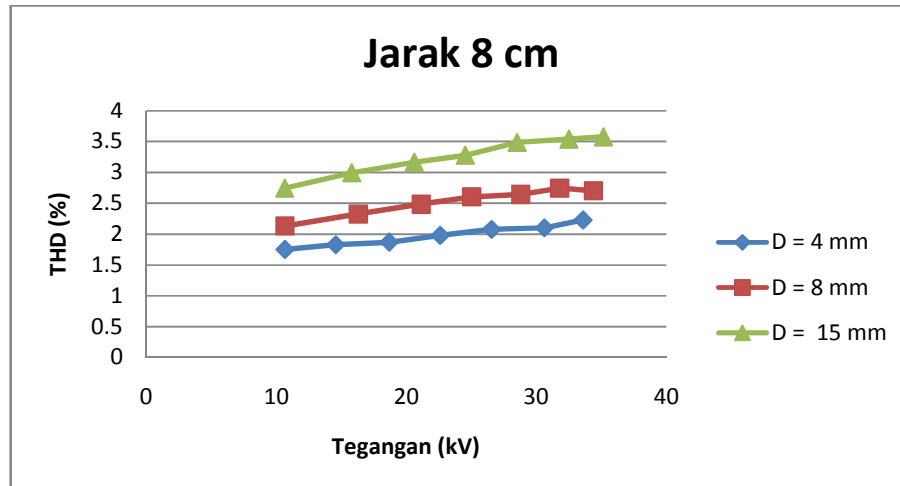
Gambar 4.17 Pengaruh diameter terhadap THD dengan jarak celah 6 cm

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada jarak yang sama, semakin besar diameter kawat yang digunakan, semakin besar THD yang dihasilkan. Ini disebabkan semakin besar diameter, akan menghasilkan ketidakteraturan yang lebih banyak dengan adanya pemusatan – pemusatan elektron yang lebih banyak pada kawat tersebut. Dengan semakin banyaknya pemusatan elektron yang ada, maka ionisasi yang dihasilkan pun semakin banyak, sehingga kanal yang terbentukpun semakin banyak.

Pada grafik terlihat bahwa gradien THD pada diameter 15 mm, merupakan yang terbesar, kemudian diikuti oleh diameter 8 mm dan gradien terkecil pada kawat berdiameter 4 mm.

4.6.3 Jarak 8 cm

Berikut merupakan grafik THD yang dihasilkan untuk masing – masing diameter yaitu 4 mm, 8 mm, dan 15 mm dengan jarak antar kawat penghantar ke kubikel sebesar 8 cm.



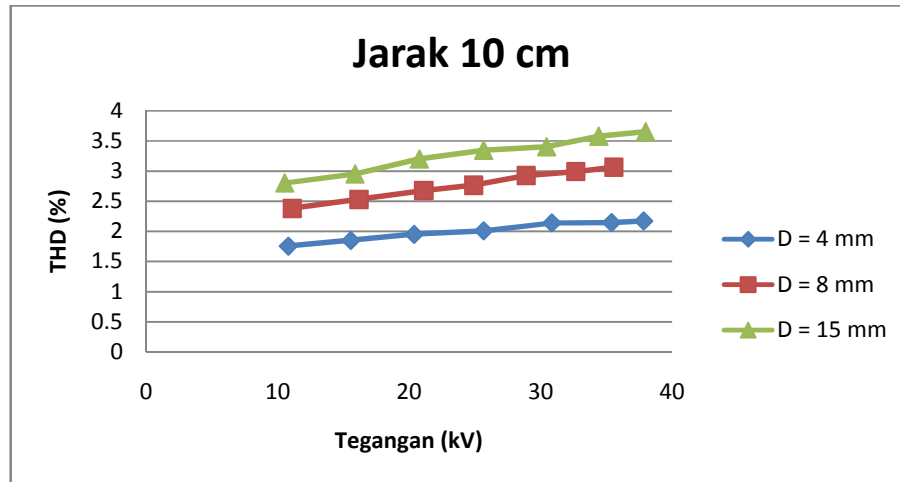
Gambar 4.18 Pengaruh diameter terhadap THD dengan jarak celah 8 cm

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada jarak yang sama, semakin besar diameter kawat yang digunakan, semakin besar THD yang dihasilkan. Ini disebabkan semakin besar diameter, akan menghasilkan ketidakeragaman yang lebih banyak dengan adanya pemusatan – pemusatan elektron yang lebih banyak pada kawat tersebut. Dengan semakin banyaknya pemusatan elektron yang ada, maka ionisasi yang dihasilkan pun semakin banyak, sehingga kanal yang terbentukpun semakin banyak.

Pada grafik terlihat bahwa gradien THD pada diameter 15 mm, merupakan yang terbesar, kemudian diikuti oleh diameter 8 mm dan gradien terkecil pada kawat berdiameter 4 mm.

4.6.4 Jarak 10 cm

Berikut merupakan grafik THD yang dihasilkan untuk masing – masing diameter yaitu 4 mm, 8 mm, dan 15 mm dengan jarak antar kawat penghantar ke kubikel sebesar 10 cm.



Gambar 4.19 Pengaruh diameter terhadap THD dengan jarak celah 10 cm

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada jarak yang sama, semakin besar diameter kawat yang digunakan, semakin besar THD yang dihasilkan. Ini disebabkan semakin besar diameter, akan menghasilkan ketidakseragaman yang lebih banyak dengan adanya pemusatan – pemusatan elektron yang lebih banyak pada kawat tersebut. Dengan semakin banyaknya pemusatan elektron yang ada, maka ionisasi yang dihasilkan pun semakin banyak, sehingga kanal yang terbentukpun semakin banyak.

Pada grafik terlihat bahwa gradien THD pada diameter 15 mm, merupakan yang terbesar, kemudian diikuti oleh diameter 8 mm dan gradien terkecil pada kawat berdiameter 4 mm.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Nilai distorsi harmonik total (THD) akan meningkat dengan dinaikkannya tegangan yang diberikan. Peningkatan THD ini akan cenderung meningkat lebih cepat saat korona terjadi, ini diperlihatkan dengan gradien THD yang menjadi lebih besar. Kemudian nilai THD ini akan mengalami saturasi saat mendekati tegangan kegagalan.
2. Peningkatan nilai THD terbesar diperoleh pada pengujian kawat 15 mm dengan jarak antara kawat penghantar ke kubikel 10 cm, didapatkan peningkatan nilai THD sebesar 0,85 %.
3. Peningkatan nilai THD terkecil diperoleh pada pengujian kawat 8 mm dengan jarak antara kawat penghantar ke kubikel 4 cm dan 6 cm, didapatkan peningkatan nilai THD berturut – turut sebesar 0,183 % dan 0,163 %.
4. Nilai distorsi harmonik (HD) orde 3, orde 5, orde 7 dan orde 11 tidak berpengaruh terhadap terjadinya korona.
5. Nilai distorsi harmonik (HD) orde 9 mengalami peningkatan ketika terjadi korona.
6. Peningkatan nilai HD orde 9 terbesar diperoleh pada pengujian kawat 15 mm dengan jarak antara kawat penghantar ke kubikel 10 cm, didapatkan peningkatan nilai HD sebesar 1,053 %.
7. Peningkatan nilai HD orde 9 terkecil diperoleh pada pengujian kawat 8 mm dengan jarak antara kawat penghantar ke kubikel 4 cm dan 6 cm, didapatkan peningkatan nilai THD berturut – turut sebesar 0,156 % dan 0,254 %.
8. Saat korona nilai THD yang semakin meningkat dikarenakan dihasilkan peningkatan dari HD orde 9.
9. THD yang dihasilkan semakin besar jika diameter kawat penghantar yang digunakan semakin besar.

10. THD yang dihasilkan cenderung meningkat jika jarak antar kawat penghantar semakin besar.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Rajput, R. K. *Power System Engineering*. 2006. Firewall media.
- [2] Sivanagaraju, S. *Electric power transmission and distribution*. 2009. Pearson Education India.
- [3] Arismunandar, Artono. *Teknik Tegangan Tinggi*. 2001. PT Pradnya Paramita.
- [4] Modeling Devices With Nonlinear Voltage – Current Characteristics for Harmonic Studies. 2004. IEEE Transactions On Power Delivery.
- [5] Boonseng, C., Kinnares, V. Harmonic Analysis of Corona Discharge Ozone Generator Using Brush Electrode Configuration. 2000. King Monkut’s Institute of Technology Ladkrabang.
- [6] Panicker, Philip A. *Ionization of Air by Corona Discharge*. 2003. University of Texas.
- [7] Thalib, Hanif. Pendeteksian Korona Pada Model Kubikel Berdasarkan Analisis Frekuensi dan Spektrum Suara. 2006. Universitas Indonesia.
- [8] Hermanto, Anugrah. Analisis Pengaruh Bentuk Elektroda Terhadap Terjadinya Korona. 2000. Universitas Indonesia.
- [9] Pramnamto, Aris. Analisis Penggunaan Single Tuned Filter Sebagai Salah Satu Solusi Masalah Harmonik Pada Beban Rumah Tangga.
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Corona_discharge