

DENYUT VOLTAN TINGGI

Oleh

NIK ZAINAL ABIDIN BIN NIK YUSOFF

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

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

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRIK)

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

Mac 2005

ABSTRAK

Permintaan pengguna ke atas makanan sentiasa berubah. Pada hari ini pengguna menuntut makanan yang segar dan asli. Pempasteuran terma bukan sahaja boleh membunuh mikroorganisma tetapi boleh memberi kesan kepada rasa, warna dan kualiti makanan yang digunakan. Kaedah pempasteuran sejuk dibangunkan untuk membunuh mikroorganisma tanpa penggunaan haba. Salah satu kaedah ialah dengan menggunakan medan denyut elektrik untuk pempasteuran makanan cecair. Kajian adalah melibatkan penggunaan medan denyut elektrik keatas makanan cecair seperti susu. Sampel susu dimasukkan ke dalam bekas rawatan dan dirawat menggunakan medan denyut elektrik. Maksimum voltan yang mampu dibekalkan ialah 17 kV. Parameter seperti kekuatan medan elektrik, bilangan denyut, lebar denyut diubah-ubah untuk mengkaji kesannya terhadap kadar ketidakaktifan mikroorganisma.

ABSTRACT

Consumers' requirements for foods are constantly changing. Today they demand the foods that are fresh and natural. Thermal pasteurization not only kills contaminating microorganisms but also affects the taste, colour and nutritional quality of foods. Cold pasteurization methods have been developed to kill microorganisms without the application of heat. One such method is the use of pulsed electric fields (PEF) for pasteurization of liquid foods. This research is about the usage of pulsed electric fields (PEF) on liquid foodstuff such as milk. A sample of milk is placed into a treatment chamber and treated with pulsed electric fields. Maximum voltage supply for the treatment chamber is about 17 kV. Parameters used for this experiment such as strength of electric fields, the number of pulses and the width of pulses is changed periodically to investigate their effects on the inactivation of microorganisms.

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu saya ingin mengucapkan syukur terhadap Ilahi kerana dengan limpah kurniaNya dapat saya menjalankan Projek Tahun Akhir pada tahun ini dalam tempoh masa yang ditetapkan.

Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada penyelia saya iaitu Prof Madya Dr. Mohd Zaid bin Abdullah yang telah banyak meluangkan masa dan memberi tunjuk ajar sepanjang saya menjalankan projek ini. Segala tunjuk ajar dan teguran yang diberikan telah banyak membantu saya.

Ribuan terima kasih juga saya ucapkan kepada Dr. Mirza Mohsin yang turut memberi pendapat dan tunjuk ajar kepada saya untuk dalam usaha saya untuk menyiapkan chamber yang akan digunakan dalam projek ini.

Tidak lupa juga kepada juruteknik En. Amir dan En. Azhar yang telah banyak membantu saya semasa menjalankan projek ini.

Seterusnya terima kasih saya ucapkan kepada semua yang terlibat dalam usaha saya menjalankan Projek Tahun Akhir ini.

Terima kasih...

ISI KANDUNGAN

ABSTRAK	ii
PENGHARGAAN	iv
ISI KANDUNGAN	v
BAB 1 PENGENALAN	
1.0 Pendahuluan	1
1.1 Penggunaan Medan Denyut Elektrik Untuk Rawatan	1
1.2 Mekanisma Untuk Ketidakaktifan Menggunakan Medan Denyut Elektrik	2
1.2.1 Kerosakan Elektrik	2
1.2.2 Electroporation	3
1.3 Tujuan Projek	5
1.4 Skop Kajian	6
BAB 2 KAJIAN ILMIAH	
2.0 Pendahuluan	7
2.1 Bentuk Gelombang Denyut	7
2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Ketidakaktifan Mikrob	9
2.3 Model Ketidakaktifan	14
2.4 Pengaruh Medan Elektrik	16
2.5 Pendenyut	18
2.6 Keruntuhan Dalam Bendalir	19
2.6.1 Partikel	19
2.6.2 Buih	20
2.7 Korona	21

BAB 3	KAEDAH IMPLEMENTASI	
3.0	Pendahuluan	23
3.1	Sambungan Litar	23
3.2	Rekabentuk Perintang	24
3.2.1	Rekabentuk Menggunakan Steatite	25
3.2.1.1	Proses Merekabentuk	25
3.2.1.2	Proses Penghasilan Dan Masalah Yang Dihadapi	27
3.2.2	Rekabentuk Menggunakan Silicon Carbide	28
3.2.2.1	Proses Merekabentuk	28
3.2.2.2	Mengukur Rintangan	30
3.3	Rekabentuk Chamber	32
3.3.1	Faktor Penting Dalam Rekabentuk Chamber	34
3.3.2	Rintangan Chamber Rawatan	35
3.4	Mendapatkan Bentuk Gelombang Keluaran	37
3.5	Cara Mengendalikan Penjana Voltan Tinggi	37
3.5.1	Langkah Untuk Menghidupkan Mesin	37
3.5.2	Langkah Untuk Mematikan Mesin	38
3.6	Langkah-Langkah Keselamatan	38
BAB 4	KEPUTUSAN	40
BAB 5	KESIMPULAN	
5.0	Pendahuluan	43
5.1	Analisis	43
5.2	Kesimpulan	44
5.3	Cadangan	45
RUJUKAN		46
LAMPIRAN		

BAB 1 : PENGENALAN

1.0 Pendahuluan

Bab ini menerangkan tentang projek yang dijalankan iaitu berkenaan dengan penggunaan medan denyut elektrik sebagai rawatan makanan. Ia menerangkan tentang teori penting dalam proses yang merosakkan sel mikroorganisma apabila dikenakan medan denyut elektrik yang tinggi. Selain itu, ia juga menerangkan tentang objektif projek dan skop kajian sebagai gambaran untuk pemahaman laporan projek ini.

1.1 Penggunaan Medan Denyut Elektrik Untuk Rawatan

Kaedah pempasteuran sejuk dibangunkan untuk membunuh mikroorganisma tanpa penggunaan haba. Salah satu kaedah ialah dengan menggunakan medan denyut elektrik untuk pempasteuran makanan cecair. Makanan cecair akan diletakkan diantara 2 elektrod voltan tinggi dan elektrod yang dibumikan. Medan elektrik yang terhasil akan menghasilkan penambahan cas dengan kekutuban yang berbeza pada salah satu bahagian dwi-lapisan pada selaput mikrob yang merupakan penebat elektrik. Pembentukan liang berlaku apabila nilai 'threshold' tertentu bagi kekuatan medan elektrik E dilampaui.

Dalam buku (Zimmermann, 1996) mengatakan bahawa apabila melebihi upaya kritikal merentasi selaput $\Delta\varphi_M$ untuk -1 V, kerosakan elektrik yang cepat dan perubahan keadaan bagi struktur dwi-lapisan berlaku. Peningkatan yang drastik dalam penyerapan menghasilkan keseimbangan bagi elektrokimia dan beza upaya elektrik bagi sel plasma dan medium diluar sel. Serentak dengan itu, peneutralan kecerunan merentasi selaput dengan

tidak boleh balik merosakkan fisiologi kawalan sistem bagi sel dan mengakibatkan kematian sel.

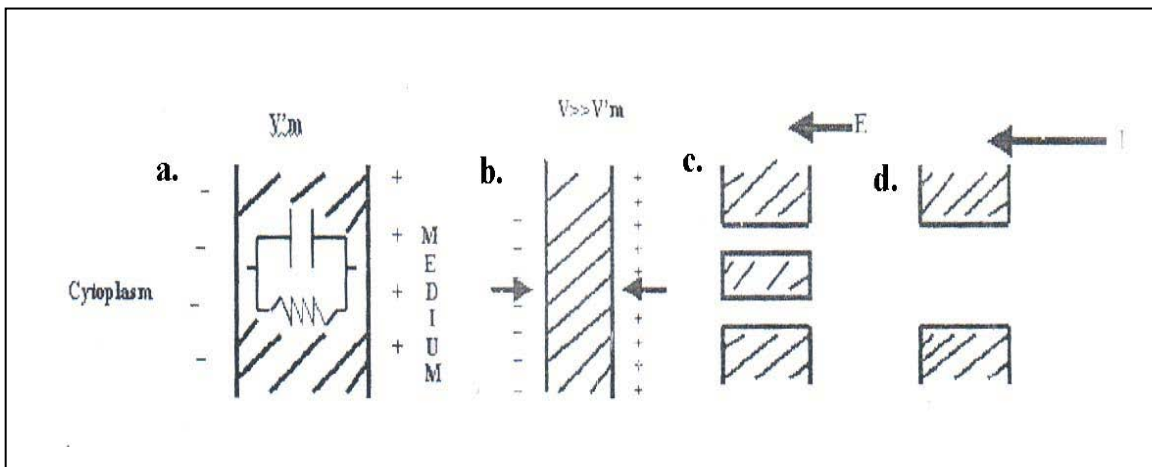
1.2 Mekanisma Untuk Ketidakaktifan Menggunakan Medan Denyut Elektrik

Ketidakaktifan mikroorganisma yang didedahkan pada medan denyut elektrik berkaitan dengan ketidakstabilan elektro-mekanikal selaput sel. Selaput sel melindungi mikrob daripada keadaan persekitaran sekeliling. Ia bertindak sebagai halangan separuh telap, berfungsi mengawal perjalanan nutrien ke dalam sel dan produk akhir bagi aktiviti metabolik di luar sel (Sale and Hamilton 1967). Dengan mengekalkan sempadan osmosis yang berkesan antara sel dan persekitaran diluarnya, selaput sel akan mengawal aktiviti metabolik. Jika selaput sel dipecahkan, kebocoran kandungan sel berlaku dan aktiviti metabolik tidak dapat dijalankan. Teori yang menerangkan pengaruh denyut medan elektrik voltan tinggi ialah teori “kerosakan elektrik” dan “electroporation”.

1.2.1 Kerosakan Elektrik

Zimmermann (1986), seperti yang ditunjukkan dalam rajah 1 menjelaskan mengenai kerosakan elektrik bagi selaput sel. Selaput merupakan kapasitor yang mengandungi dielektrik (Rajah 1.1a). Rintangan biasa beza upaya merentasi selaput V_m ialah mV dan peningkatan beza upaya selaput berlaku disebabkan oleh pemisahan cas merentasi selaput. Beza upaya, V adalah berkadar langsung dengan kekuatan medan, E dan jejari sel. Peningkatan voltan dalam selaput menyebabkan pengurangan dalam ketebalan lapisan selaput (Rajah 1.1b). Kerosakan selaput berlaku jika kerosakan voltan kritikal V_c (pada 1 V) dicapai. Ini dilakukan dengan meningkatkan kekuatan medan elektrik luaran

(Rajah 1.1c). Kerosakan ini menyebabkan pembentukan liang merentasi selaput (mengandungi larutan yang konduktif), dimana ia menyebabkan selaput akan di nyahcas dengan serta merta dan penguraian selaput berlaku. Kerosakan boleh balik jika liang yang dihasilkan adalah kecil berbanding dengan permukaan selaput. Pada nilai yang melebihi kekuatan medan elektrik kritikal dengan masa yang panjang, lebih besar kawasan selaput yang akan mengalami kerosakan (Rajah 1.1d). Jika saiz dan bilangan liang menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan jumlah permukaan selaput, kerosakan boleh balik (reversible) akan bertukar menjadi kerosakan tidak boleh balik (irreversible), dimana ia melibatkan kerosakan pada selaput sel.



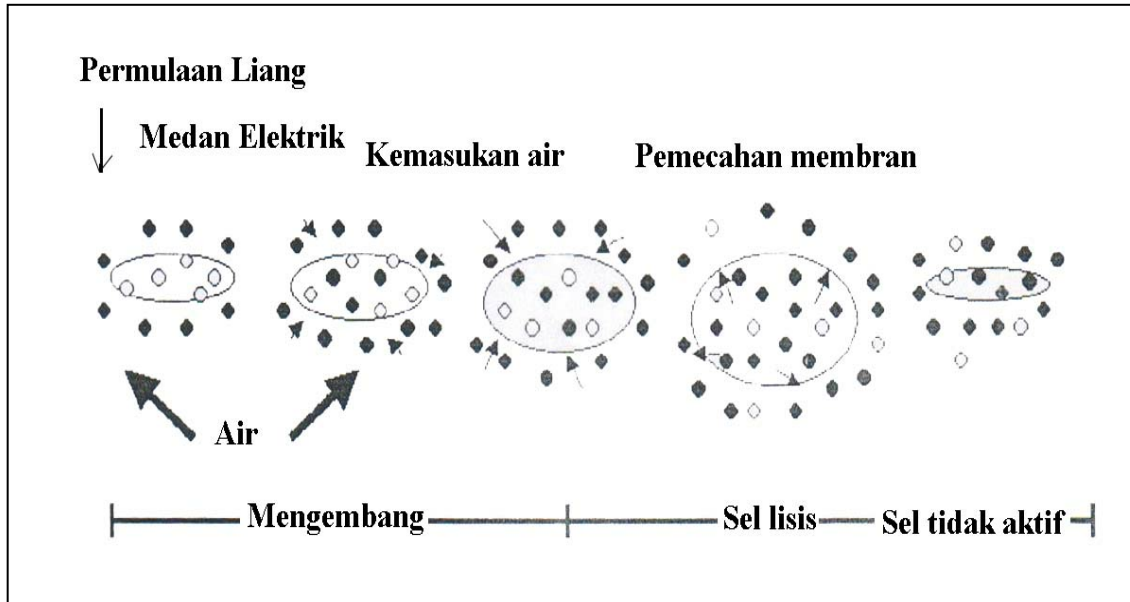
Rajah 1.1: Diagram bagi pemecahan boleh balik dan tidak boleh balik

1.2.2 Electroporation.

Electroporation ialah fenomena di mana sel didedahkan kepada medan denyut elektrik pada voltan tinggi untuk seketika. Ini menyebabkan dwi-lapisan dan protein selaput sel menjadi tidak stabil (Castro 1993). Selaput plasma sel akan dapat ditembusi (dengan menyerap) oleh molekul kecil selepas didedahkan kepada medan elektrik. Penyerapan ini

menyebabkan selaput sel membesar dan akhirnya kerosakan selaput sel berlaku (rajah 1.2) (Vega-Mercado 1996b). Kesan utama medan elektrik ke atas sel mikroorganisma ialah meningkatkan penyerapan selaput disebabkan oleh pemampatan dan pembentukan liang pada selaput sel (Vega-Mercado and other 1996b). Kinoshita dan Tsong (1977; 1979) telah melakukan demonstrasi dan mendapati bahawa medan elektrik pada 2.2 kV/cm akan meningkatkan liang dalam erythrocytes manusia lebih kurang 1 nm diameter. Kinoshita dan Tsong (1977) mencadangkan 2 langkah mekanisme untuk pembentukan liang di mana pembentukan awal bergantung kepada nilai voltan awal diikuti dengan masa pengembangan saiz liang (rajah 1.2). Lintang yang lebih besar akan diperolehi dengan meningkatkan kekuatan medan elektrik dan tempoh denyutan atau dengan mengurangkan kekuatan ionik medium.

Dalam liposome, pergerakan elektroforesis ion dan air dua kutub melalui liang hindar air (hidrofobik) mestilah menjadi proses 'electroporation' yang pertama. Selepas itu molekul 'lipid' akan disusun untuk membentuk liang hidrofilik yang lebih stabil. Ia akan mengambil tempat dalam selaput sel. Saluran protein, liang dan pam dalam selaput ini adalah sangat sensitif terhadap medan elektrik yang merentasi selaput. Ia akan menjadi kawasan permulaan untuk 'elektropores' (Tsong 1990). Dalam selaput sel, cas kepada elektrik bagi 'lipid' dua kutub, protein, karbohidrat, dan ion serta kebolehkutuban molekul-molekul akan menghasilkan medan elektrik. Oleh itu, 'electroporation' terjadi dalam kedua-dua liposom dan selaput sel, tetapi molekul yang dipengaruhi oleh medan yang dihasilkan tidak semestinya sama dengan dua sistem ini (Tsong 1990).



Rajah 1.2: Electroporation untuk membran sel (Vega-Mercado, 1996b)

1.3 Tujuan Projek

Tujuan projek ini adalah untuk mendapatkan bentuk gelombang keluaran daripada penjana denyut voltan tinggi. Daripada bentuk gelombang yang diperolehi parameter-parameter tertentu akan dapat direkodkan. Disamping itu, kajian juga dilakukan dalam merekabentuk chamber. Ini bagi memastikan eksperimen yang akan dijalankan dengan berkesan dan lancar.

Selain itu, projek ini juga bertujuan mempelajari kesan medan denyut elektrik keatas kadar ketidakaktifan sel mikroorganisma. Bakteria dimasukkan ke dalam susu yang diletakkan di dalam chamber antara dua elektrod. Medan denyut elektrik kemudiannya dikenakan keatas susu dalam chamber rawatan untuk tempoh masa yang telah ditetapkan. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan kekuatan medan elektrik, bilangan denyut dan tempoh rawatan yang berubah-ubah.

Objektif yang ingin dicapai dalam projek ini ialah :

- (a) Mendapatkan bentuk gelombang keluaran daripada penjana denyut voltan tinggi.
- (b) Mempelajari cara-cara bagaimana untuk mengendalikan peralatan yang melibatkan voltan tinggi.
- (c) Mempelajari kesan kekuatan denyut medan elektrik dan kesan pengulangan denyut atau bilangan medan denyut elektrik keatas kadar ketidakaktifan sel.
- (d) Mempelajari bagaimana cara untuk menentukan nilai medan elektrik kritikal untuk sel serta faktor yang mempengaruhi perubahan nilai tersebut
- (e) Mempelajari bagaimana cara untuk menentukan masa rawatan kritikal untuk sel dan faktor yang mempengaruhi perubahan nilai tersebut.

1.4 Skop Kajian

Kajian melibatkan aplikasi denyut voltan tinggi untuk membunuh bakteria dalam makanan cecair. Ia melibatkan teori yang berkaitan dengan kadar ketidakaktifan mikroorganisma iaitu faktor-faktor yang mempengaruhi kadar ketidakaktifan mikroorganisma. Kajian juga untuk mendapatkan bentuk gelombang keluaran serta parameter-parameter penting yang mempengaruhi kadar kerosakan sel atau ketidakaktifan mikroorganisma.

BAB 2 : KAJIAN ILMIAH

2.0 Pendahuluan

Bab ini menerangkan tentang perkara-perkara yang perlu diambil kira atau diberi penekanan semasa menjalankan eksperimen. Ia dimulakan dengan penerangan tentang bentuk gelombang denyut diikuti dengan faktor yang mempengaruhi kadar ketidakaktifan mikroorganisma, model ketidakaktifan, pengaruh medan elektrik, pendenyut, keruntuhan dalam bendalir dan korona. Dalam bahagian bentuk gelombang denyut, diterangkan tentang bentuk-bentuk gelombang denyut yang biasa digunakan dimana setiap gelombang mempunyai kelebihan dan kekurangan yang tersendiri. Bahagian model ketidakaktifan dan pengaruh medan elektrik pula banyak menerangkan tentang formula-formula yang digunakan dalam eksperimen. Sedikit penerangan tentang pendenyut terdapat dalam bahagian pendenyut. Terdapat beberapa faktor penting yang perlu diberi perhatian semasa melakukan projek ini ialah faktor yang menyebabkan kejatuhan atau pengurangan kekuatan medan elektrik dalam chamber rawatan. Ini diterangkan dalam bahagian keruntuhan dalam bendalir.

2.1 Bentuk Gelombang Denyut

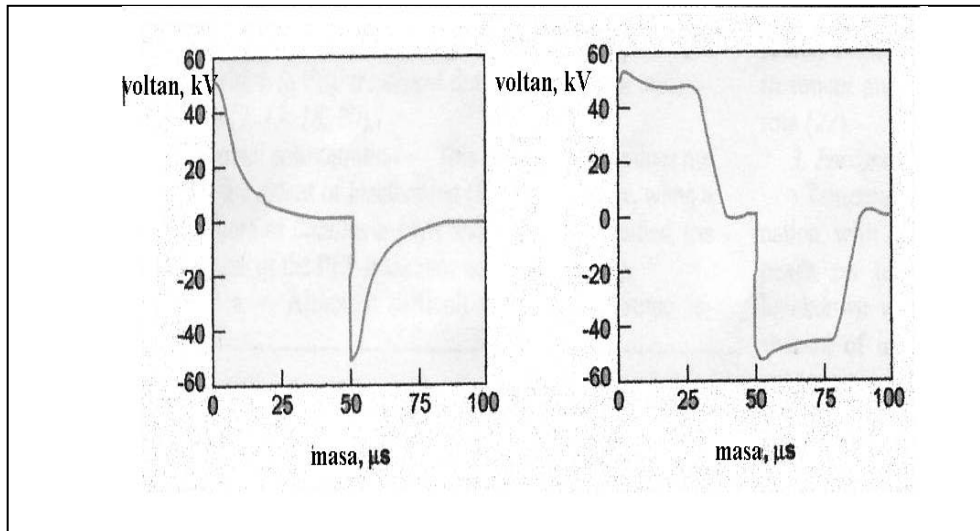
Bergantung kepada konfigurasi sistem, denyutan boleh dikategori kepada:

- i) keruntuhan eksponen
- ii) gelombang bersegi
- iii) dua kutub

Denyutan keruntuhan eksponen lebih mudah dihasilkan. Bagi denyutan ini, voltan meningkat dengan cepat untuk mencapai nilai maksimum seterusnya berkurangan dengan perlahan kepada nilai sifar. Lebar atau jangkamasa keruntuhan eksponen ini didefinisikan sebagai masa yang diperlukan untuk voltan menyusut sehingga 37% nilai puncak (Qin, B. L., et al, 1996). Kelemahan denyutan jenis ini ialah ia tidak mempunyai kecekapan tenaga yang sangat tinggi disebabkan ia mempunyai nilai kekuatan medan elektrik rendah yang panjang (dimana ia tidak memberi kesan keatas ketidakaktifan mikrob).

Gelombang bersegi lebih berkesan untuk ketidakaktifan mikrob berbanding denyutan keruntuhan eksponen. Tetapi penjanaan gelombang bersegi adalah lebih sukar kerana sistem elektrik yang diperlukan adalah lebih kompleks (Barbosa-Canovas, G. V., et al, 1999). Gelombang ini lebih sesuai berbanding denyutan keruntuhan eksponen kerana ia dapat mengekalkan puncak voltan untuk masa yang lebih lama. Ini akan menghasilkan ketidakaktifan yang lebih tinggi dan kesan pemanasan yang lebih rendah.

Dalam denyutan 2 kutub, kekutuban denyutan disongsangkan berganti-ganti dengan terdapat masa rehat antara denyutan. Denyutan 2 kutub boleh jadi dalam bentuk keruntuhan eksponen atau gelombang bersegi. Denyutan jenis ini lebih berkesan berbanding denyutan satu kutub (Qin, B. L., et al, 1994). Contoh denyutan 2 kutub adalah seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.1.



Rajah 2.1 :Denyutan dua kutub

2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Ketidakaktifan Mikrob.

Pendedahan sel mikrob pada medan elektrik yang mencukupi akan memberi perubahan pada ciri selaput sel. Biasanya, ia akan mengurangkan rintangan dan meningkatkan kealiran. Fenomena ini dikenali sebagai kerosakan elektrik (Zimmermann, U, 1986), dan ianya boleh balik dan tidak boleh balik bergantung kepada kekuatan dan tempoh rawatan. Peningkatan dalam pengaliran elektrik adalah disebabkan oleh pembentukan liang dalam selaput (Zimmermann, U, 1986).

Nilai voltan merentasi selaput yang menyebabkan kerosakan elektrik dikenali sebagai voltan kritikal, V_c , dan ia bergantung kepada jenis dan saiz sel serta tempoh denyutan. Medan elektrik kritikal E_c , didefinisikan sebagai:

$$E_c = \frac{V_c}{fa} \quad (2.1)$$

Dimana f adalah faktor bentuk dan a ialah jejari sel. Untuk sel yang berbentuk sfera, $f = 1.5$, sebaliknya untuk sel yang berbentuk silinder, nilai f adalah :

$$f = \frac{l}{(l - d/3)} \quad (2.2)$$

dimana l ialah panjang dan d ialah diameter (Schoenbach, K. H., et al, 1997). Jika jumlah upaya merentasi membran melebihi nilai kritikal iaitu 1 V, kerosakan elektrik bagi selaput berlaku. Kerosakan elektrik adalah boleh balik jika rawatan elektrik tidak terlalu tinggi dan tempoh rawatan adalah singkat (nanosaat), dimana apabila medan elektrik dihentikan, penyerapan selaput akan dibaikpulih semula.

Sebaliknya jika kekuatan medan elektrik yang digunakan melebihi medan elektrik kritikal, kerosakan yang berlaku pada selaput adalah tidak boleh balik dan selaput tidak dapat membaikpulih fungsi penyerapan. Sebagai akibatnya, sel akan mati.

Ketidaktifan mikrob yang dikenakan rawatan denyut medan elektrik bergantung kepada beberapa faktor, dimana ia dibahagikan kepada 3 :

1. Bergantung kepada rawatan elektrik :

- Bentuk gelombang denyutan

Bentuk gelombang denyutan yang berlainan memberi kesan yang berbeza keatas ketidaktifan mikrob (Rujuk kepada tajuk : Bentuk Gelombang Denyut).

- Kekuatan medan elektrik

Lebih tinggi medan elektrik yang dikenakan, lebih tinggi ketidakaktifan mikrob diperolehi (Qin, B. L., et al, 1996 dan Vega-Mercado, H., et al, 1996).

- Masa rawatan

Masa rawatan adalah bersamaan dengan hasil darab bilangan denyut yang digunakan dengan lebar denyut. Biasanya untuk lebar denyut yang tetap, ketidakaktifan mikrob meningkat dengan meningkatkan bilangan denyut. Walau bagaimanapun lebar denyut yang panjang boleh memberikan kesan pemanasan keatas produk.

2. Bergantung kepada mikroorganisma

- Saiz sel

Daripada persamaan (2.1), kerosakan elektrik berkadar secara langsung dengan jejari sel. Oleh itu sel yang lebih besar akan memerlukan kekuatan medan elektrik yang lebih rendah untuk proses ketidakaktifan sel berbanding sel yang lebih kecil.

- Peringkat pembesaran (pertumbuhan)

Sel dalam fasa pembesaran (pertumbuhan) eksponen lebih sensitif terhadap denyut medan elektrik berbanding sel dalam fasa tidak bergerak (Barbosa-Canovas, G. V., et al, 1999 dan Pothakamury, U. R., et al 1995).

- Kepekatan mikrob

Bilangan mikroorganisma dalam makanan mungkin memberi kesan keatas ketidakaktifan apabila denyutan medan elektrik dikenakan. 'Barbosa Canovas and others (1999)' melaporkan bahawa ketidakaktifan bagi E. Coli dalam model sistem makanan 'Simulated Milk Ultrafiltrate' (SMUF) tidak dipengaruhi apabila kepekatan mikroorganisma adalah pada nilai 10^3 hingga 10^8 cfu/ml dan dikenakan

medan elektrik 70 kV/cm, 16 denyutan serta lebar denyut 2 μ s. Manakala peningkatan bilangan bagi *S. Cereviciae* dalam jus epal menyebabkan kadar ketidakaktifan berkurang secara perlahan-lahan (25 kV/cm, 1 denyutan dan lebar denyut 25 μ s).

- Spora

Walaupun ia agak sukar untuk mengalami ketidakaktifan, sesetengah penyelidikan menunjukkan bahawa spora boleh mengalami ketidakaktifan dengan menggunakan rawatan denyutan medan elektrik dan jenis denyutan memainkan peranan (Marquez, V. O., et al, 1997).

3. Bergantung kepada medium.

- Suhu

Ia mempunyai kesan sinergi dalam kombinasi dengan rawatan denyut medan elektrik. Voltan pecah tebat bergantung kepada suhu (Zimmermann, U, 1986). Sekiranya suhu meningkat, voltan pecah tebat akan berkurang. Oleh itu, untuk mencapai jumlah ketidakaktifan yang sama, kekuatan medan elektrik yang lebih rendah diperlukan pada suhu yang tinggi.

- pH, kekuatan berion dan kealiran

Kealiran elektrik bagi medium didefinisikan sebagai kemampuan untuk mengalirkan arus adalah perkara penting dalam denyutan medan elektrik. Kealiran adalah berkadar songsang dengan kerintangan :

$$\text{Kealiran, } \sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.3)$$

Dimana ρ adalah kerintangan.

Makanan yang mempunyai kealiran yang tinggi menghasilkan puncak medan elektrik merentasi chamber yang rendah. Ini tidak boleh diterima untuk rawatan denyutan medan elektrik (Barbosa-Canovas, G. V., et al, 1999). Ketidakaktifan bagi *Lactobacillus brevis* dengan rawatan denyut elektrik menunjukkan bahawa peningkatan kealiran dalam bendalir menyebabkan rintangan dalam chamber rawatan berkurang (Jayaram and other, 1992), dimana ia akan mengurangkan lebar denyut seterusnya mengurangkan kadar ketidakaktifan.

Peningkatan kealiran adalah disebabkan oleh peningkatan kekuatan berion bagi bendalir. Oleh itu peningkatan kekuatan berion bagi makanan akan mengurangkan kadar ketidakaktifan. Peningkatan perbezaan kealiran antara medium dan sitoplasma mikrob melemahkan struktur selaput disebabkan oleh peningkatan pengaliran berion merentasi selaput. Oleh itu kadar ketidakaktifan meningkat apabila kealiran berkurangan pada tenaga masukan yang sama (Sensoy, I., et al, 1997).

'Dunne and other (1996)' melaporkan bahawa pH asid akan menambahkan ketidakaktifan mikrob. Ini bergantung kepada mikroorganisma tersebut. Walau bagaimanapun tiada dinyatakan nilai pH yang digunakan dan mikroorganisma yang dipengaruhi.

- Kandungan (campuran) medium

Sesetengah komponen makanan seperti protein atau lipid mungkin mempunyai kemampuan untuk melindungi mikroorganisma (Barsotti, L. and J. C. Cheftel, 1999), tetapi ia tiada persetujuan umum. Sebagai contoh, satu kajian mengatakan bahawa partikel lemak dalam susu memberi perlindungan kepada E. Coli terhadap denyutan medan elektrik. Manakala sesetengah kajian melaporkan bahawa tiada perbezaan antara ketidakaktifan bagi *Listeria monocytogenes* yang disuntik ke dalam 2 % lemak atau susu (Reina, L. D., et al, 1998).

2.3 Model ketidakaktifan

Hulshager dan Niemann (1980) adalah orang yang pertama memperkenalkan model matematik untuk ketidakaktifan mikroorganisma dengan denyut medan elektrik. Model mereka adalah berasaskan pada nisbah peninggalan S (N / N_0 atau nisbah hidupan sel yang dikira sebelum dan selepas rawatan denyut medan elektrik) pada kekuatan medan elektrik E berdasarkan persamaan :

$$\ln(S) = -b_E (E - E_c) \quad (2.4)$$

dimana,

b_E = pekali regrasi

E = medan elektrik yang digunakan

E_c = medan elektrik kritikal

Pekali regrasi menunjukkan kecerunan bagi lengkung peninggalan dan pemalar media mikroorganisma. Medan elektrik kritikal (E_c) ditentukan untuk menjadi fungsi bagi saiz sel (lebih kecil untuk sel yang besar) dan lebar denyutan (dengan lebar denyutan $> 50 \mu\text{s}$, $E_c = 4.9 \text{ kV/cm}$; lebar denyutan $> 2 \mu\text{s}$, $E_c = 40 \text{ kV/cm}$). Hulsheger dan lain-lain (1981) mengusulkan model ketidakaktifan kinetik yang mengaitkan peninggalan sepihan mikrob (S) dengan masa rawatan PEF (t) dalam bentuk

$$\ln S = -b_t \ln(t/t_c) \quad (2.5)$$

dimana,

b_t = pekali regrasi

t = masa rawatan

t_c = masa rawatan kritikal.

Hulsheger (1981) telah memperkenalkan model matematik untuk kadar peninggalan :

$$S = \left(\frac{t}{t_c} \right)^{\frac{-(E-E_c)}{k}} \quad (2.6)$$

Dimana,

S = nisbah bilangan organisma yang ada dalam makanan selepas rawatan dan bilangan awal organisma yang ada sebelum rawatan.

t = masa rawatan

t_c = masa rawatan kritikal

E = kekuatan medan elektrik (V/m)

E_c = kekuatan medan elektrik kritikal

k = pemalar untuk mikroorganisma

Apabila logaritma asas 10 diletakkan pada kedua-dua bahagian untuk persamaan (2.6),

$$-\log(s) = \frac{(E - E_c)}{k} * \log\left(\frac{t}{t_c}\right) \quad (2.7)$$

Bahagian kiri persamaan diatas merujuk kepada kadar ketidakaktifan atau pengurangan log. Satu pengurangan log merujuk kepada 90 % pengurangan dalam populasi awal mikroorganisma. Kadar ketidakaktifan mikroorganisma berkadar langsung dengan kekuatan medan elektrik yang digunakan dan ia berkadar terus dengan logaritma bagi masa rawatan (persamaan 2.7). Walau bagaimanapun kekuatan medan elektrik adalah lebih berkesan keatas ketidakaktifan mikroorganisma berbanding dengan masa rawatan.

2.4 Pengaruh medan elektrik

Apabila sepasang elektrod dasingkan pada jarak d , dan disambungkan pada voltan maka kekuatan medan elektrik dapat dinyatakan menggunakan rumus:

$$E = \frac{V}{d} \quad (2.8)$$

Dimana,

V = beza upaya yang digunakan

d = jarak antara dua elektrod

Jika beza upaya yang dikenakan meningkat, maka kekuatan medan elektrik juga akan meningkat. Seterusnya kadar ketidakaktifan sel juga akan meningkat (berdasarkan kepada persamaan 2.7).

Kadar kuasa berterusan untuk penjana denyut ekponen diberikan :

$$P = \frac{f\tau V^2}{2R} \quad (2.9)$$

Dimana,

P = kuasa (W)

f = frekuensi bagi denyut (Hz)

τ = lebar denyut (s)

V = voltan puncak (V)

R = rintangan bagi chamber rawatan

Kuasa yang diperlukan boleh dikurangkan dengan mengurangkan frekuensi, lebar denyut atau voltan. Kekuatan medan elektrik lebih berkesan berbanding lebar denyut keatas kadar ketidakaktifan (persamaa 2.7). Oleh itu kecekapan tenaga boleh dimaksimumkan dengan

meningkatkan kekuatan medan elektrik dan mengurangkan lebar denyut (Zhang et al.1995b). Rintangan untuk chamber rawatan diberikan :

$$R = \frac{\rho d}{A} \quad (2.10)$$

Dimana,

ρ = kerintangan cecair (Ωm)

d = jarak antara elektrod (m)

A = luas elektrod (m^2)

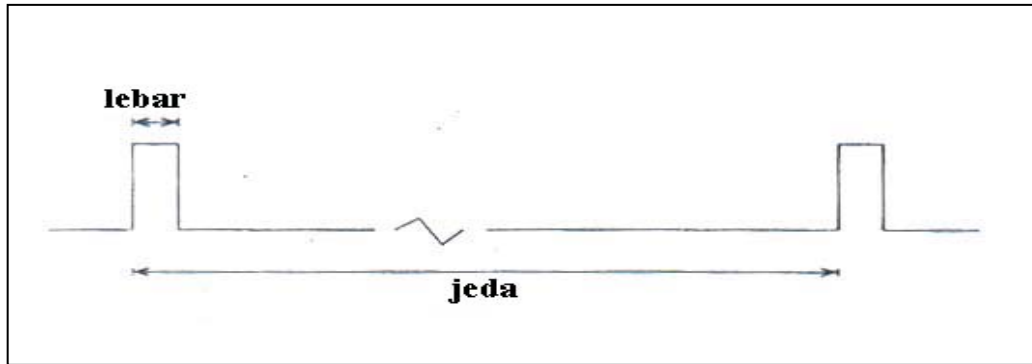
2.5 Pendenyut

Keluaran voltan bagi pendenyut akan ON pada suatu tempoh masa dan akan OFF pada tempoh masa yang lain. Masa voltan ON ini dipanggil lebar denyut. Masa daripada satu denyut ON ke satu denyut yang lain ON dipanggil jeda denyut dimana ia adalah jumlah masa denyut ON dan masa denyut OFF.

$$\text{Kadar pengulangan denyut (PRR)} = \frac{1}{\text{jeda denyut}}$$

$$\text{Kitar tugas (\% masa denyut ON)} = \frac{\text{lebar denyut}}{\text{jeda denyut}}$$

Kadar pengulangan denyut juga dikhususkan sebagai frekuensi pengulangan denyut diberi dalam Hertz (denyut / saat). Rajah 2.2 menunjukkan contoh jeda dan lebar denyut.



Rajah 2.2 : Menunjukkan jeda dan lebar denyut

2.6 Keruntuhan dalam bendalir

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keruntuhan voltan dalam bendalir yang perlu diberi perhatian semasa menjalankan eksperimen. Antara faktor yang perlu diberi perhatian ialah partikel dan buih yang wujud dalam chamber semasa menjalankan eksperimen.

2.6.1 Partikel

Apabila medan elektrik E digunakan, partikel akan tertarik. Jika partikel mempunyai kebertelusan, ϵ_2 lebih tinggi daripada bendalir, ϵ_1 , daya akan bertindak pada partikel untuk membawanya ke arah kawasan yang mempunyai tegasan elektrik yang maksimum antara elektrod. Untuk partikel sfera dengan jejari r , magnitud daya diberikan oleh Abraham dan Becker (1942) sebagai :

$$F = \frac{1}{2} r^3 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} \text{grad} E^2 \quad (2.11)$$

Disebabkan oleh kebertelusan air yang tinggi, daya ini bertambah jika partikel basah atau lembap. Partikel yang lain akan ditarik ke dalam bahagian yang mempunyai tegasan yang tinggi sehingga akhirnya partikel akan disusun dari hujung ke hujung oleh medan. Maka titian litar pintas dibentuk antara elektrod. Arus mengalir melalui titian ini menghasilkan pemanasan menyebabkan keruntuhan. Partikel tersebut boleh termasuk logam, dimana dalam kes ini ϵ_2 menghampiri infiniti dan persamaan 2.11 berkurangan menjadi

$$F = \frac{1}{2} r^3 \text{grad} E^2. \quad (2.12)$$

Krasucki (1966) telah menganggarkan bahawa partikel logam, sfera dan tunggal antara elektrod akan meningkatkan medan pada permukaan sebanyak 3 kali medan yang digunakan dimana ia sudah cukup untuk permulaan keruntuhan.

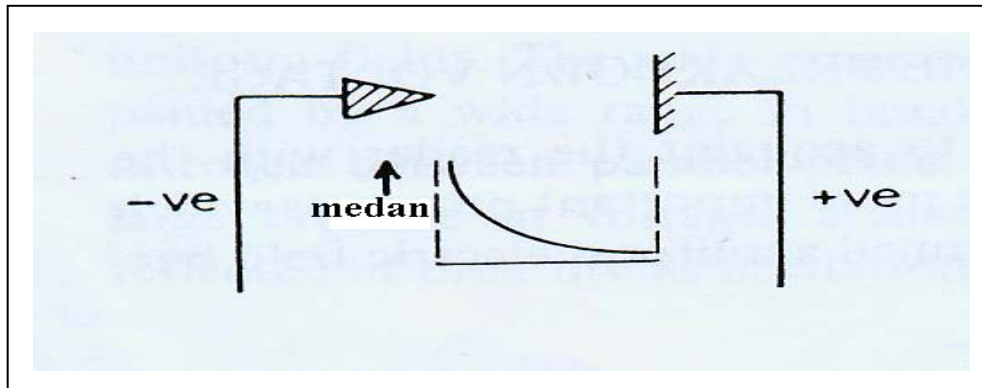
2.6.2 Buih

Buih juga mempengaruhi kejatuhan voltan dalam bendalir. Daya elektrostatik memanjangkan buih dengan pantas sebaik sahaja ia dihasilkan dan ketika kekuatan pecah bagi gas adalah lebih rendah daripada bendalir, medan di luar buih mungkin akan melampaui kekuatan bagi wap. Ini menyebabkan nyahcas di dalam buih yang mana akan memberi kesan kepada bendalir secara kimia, menghasilkan lebih banyak wap dan buih juga meningkat. Akhirnya ia akan menghubungkan keseluruhan jurang dan seterusnya melengkapkan nyahcas.

2.7 Korona

Apabila terdapat titik, hujung yang tajam, permukaan yang kasar atau lengkung kecil pada jejari pada elektrod, tegasan pada gas sekeliling pada permukaan ini akan bertambah, biasanya sebanyak 10 kali (Lewis, 1995) berbanding dengan tegasan normal. Dalam geometri titik satah elektrod, elektron dipancarkan dari titik pada upaya negatif, semakin laju apabila berada dalam medan yang tinggi berhampiran dengan titik dan perlanggaran ion berlaku. Bagaimanapun, apabila jurang direntasi, elektron bergerak memasuki bahagian yang mempunyai medan yang rendah seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.3 dan pengionan jatuh pada nilai yang boleh diabaikan. Sebahagian nyahcas separa atau keruntuhan berlaku pada bahagian yang berhampiran dengan titik tanpa merentasi jurang antara katod dan anod. Apabila dimasukkan gas, nyahcas adalah dalam bentuk denyut dimana dikenali sebagai denyut Trichel (1939). Apabila voltan meningkat nyahcas separa dihasilkan pada kadar yang lebih laju sehingga mencapai medan kritikal, cahaya korona dihasilkan.

Bagi udara, nilai medan kritikal untuk permulaan korona ialah 30 kV/cm. Dalam udara, korona disertakan dengan penghasilan ozon dan bunyi bising. Keadaan ini boleh dilihat apabila keadaan gelap berhampiran talian penghantaran iaitu terdapat kilauan sekeliling wayar. Korona menyebabkan kehilangan kuasa disebabkan sesetengah pengalir arus dibawa oleh udara terion sekeliling pengalir. Kuasa diserap dalam mengekalkan arus korona, tetapi keadaan cuaca cerah, kehilangan mempunyai sedikit teknik atau kepentingan ekonomi.



Rajah 2.3 : Perubahan medan elektrik dalam jurang satah titik

Sifat lain korona yang tidak diinginkan daripada talian penghantaran ialah gangguan radio dapat dihasilkan. Sinaran daripada nyahcas berlaku keatas julat frekuensi yang besar daripada 200kHz hingga 4MHz dan ia meningkat dengan peningkatan kelembapan dan hujan. Kesan korona menjadi lebih serius jika ia berlaku pada permukaan atau dalam kedalaman yang tidak sah bagi penebatan padu.

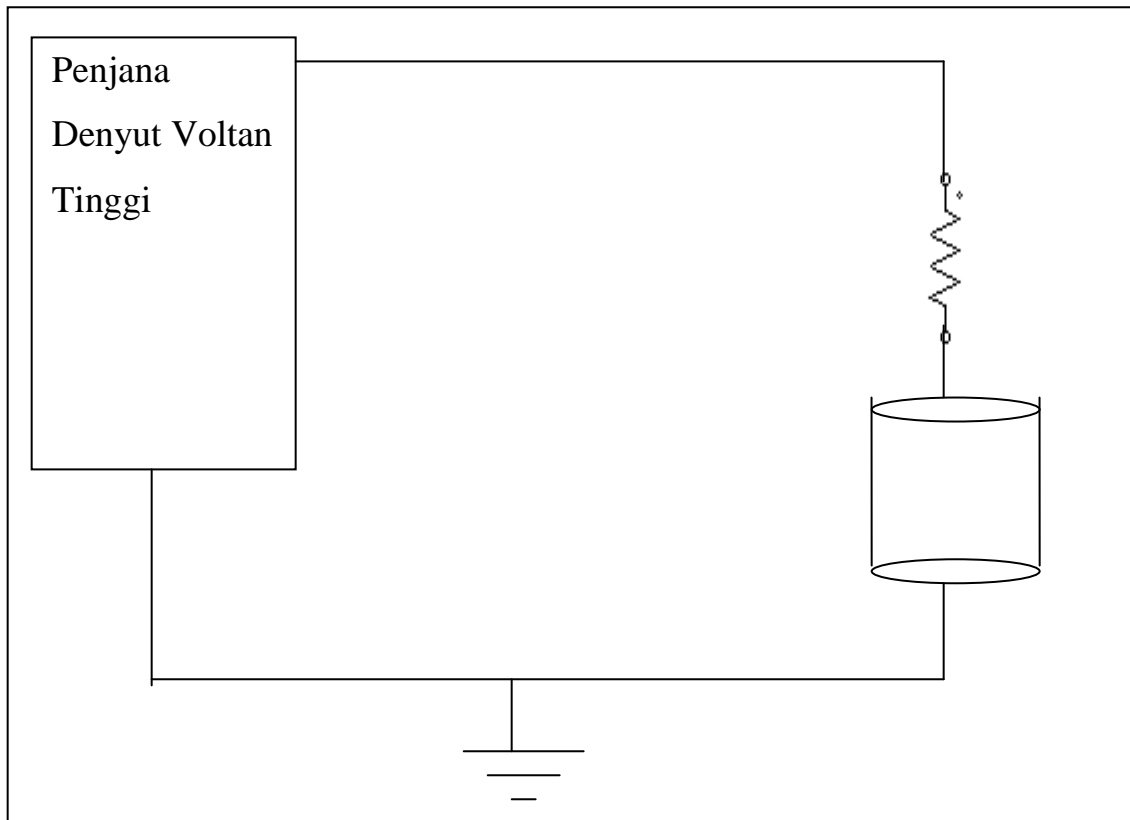
BAB 3 : KEDAH IMPLEMENTASI

3.0 Pendahuluan

Bab ini menerangkan tentang langkah-langkah yang dilakukan sebelum menjalankan eksperimen. Terdapat dua langkah penting iaitu rekabentuk perintang dan rekabentuk chamber. Dalam bahagian rekabentuk perintang, menerangkan tentang rekabentuk yang dilakukan dan masalah yang dihadapi. Manakala dalam rekabentuk chamber, menerangkan bentuk chamber yang digunakan serta perkara-perkara yang perlu diberi perhatian dalam merekabentuk chamber. Ia juga menjelaskan tentang cara untuk mengira rintangan bagi chamber rawatan yang digunakan. Disamping itu, ia juga menerangkan tentang langkah yang dilakukan untuk mendapatkan bentuk gelombang keluaran pada osiloskop. Bahagian ini diterangkan dalam sub topik 3.4. Bab ini juga menerangkan tentang cara mengendalikan penjana voltan tinggi dan langkah-langkah keselamatan yang perlu diberi perhatian.

3.1 Sambungan Litar

Litar disambungkan seperti Rajah 3.1. Penjana denyut voltan tinggi mampu menghasilkan voltan maksimum sebanyak 17 kilovolt. Bagi memastikan voltan yang diterima di beban adalah sama dengan voltan yang dibekalkan oleh penjana denyut voltan tinggi, nilai rintangan beban perlu sekurang-kurangnya 1 kilo ohm.



Rajah 3.1 : Sambungan litar

Perintang disambungkan secara siri dengan chamber rawatan dimana kedua-duanya adalah beban. Langkah rekabentuk chamber dan perintang diterangkan dalam sub-topik seterusnya.

3.2 Rekabentuk Perintang

Dalam rekabentuk perintang, terdapat dua rekabentuk dimana setiap rekabentuk adalah menggunakan bahan seramik yang berlainan jenis. Rekabentuk pertama adalah menggunakan Steatite manakala rekabentuk kedua menggunakan Silicon Carbide.