

Paper No :

MSAE2018-AFE015

Pembersihan Kilang Pemprosesan Makanan untuk Jaminan Makanan Selamat

N.I. Khalid¹ and A.A. Norashikin¹

¹Jabatan Kejuruteraan Proses & Makanan,
Fakulti Kejuruteraan, Universiti Putra Malaysia,
43400 UPM SerdangSelangor, Malaysia.

norashikin@upm.edu.my

ABSTRAK

Ruang kerja pemprosesan makanan mestilah bersih demi menjamin kebersihan dan keselamatan makanan. Terdapat pelbagai teknik pembersihan kilang pemprosesan produk makanan. Teknologi termaju untuk pembersihan yang berkesan dan ekonomi telah lama diguna pakai di industri makanan ternama. Oleh kerana bahan mentah makanan mempunyai sifat yang berbeza maka tiada langkah standard untuk membersihkan semua kilang makanan dan kajian perlu dijalankan untuk mencari prosedur pembersihan yang optimum. Namun masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki sebelum teknik pembersihan yang berkesan dapat dilaksanakan di industri kecil (SME) pemprosesan makanan. Kertas ini menerangkan faktor dalam pembersihan yang berkesan dan melaporkan beberapa hasil kajian yang telah dilaksanakan di Universiti Putra Malaysia.

KATA KUNCI

Pembersihan, kilang pemprosesan makanan, makanan selamat, mendapan kotoran

**Paper presented at the 2018 MSAE Conference,
Serdang, Selangor D. E., Malaysia.
7 & 8 February 2018**

The society is not responsible for statements or opinions written in papers or related discussions at its meeting. Papers have not been subjected to the review process by MSAE editorial committees; therefore, are not to be considered as refereed.



PENGENALAN

Dalam abad ke-21, ketika harga minyak dan gas semakin meningkat, isu teknologi hijau, tenaga dan sumber yang boleh diperbaharui telah menarik minat ramai pemimpin dunia. Di Malaysia, Dasar Teknologi Hijau Kebangsaan telah dilancarkan pada 24 Julai 2009, untuk mengawal impak harga minyak dan gas ke atas ekonomi negara. Salah satu objektif dasar ini adalah untuk mengurangkan penggunaan tenaga dan pada masa yang sama meningkatkan pertumbuhan ekonomi.

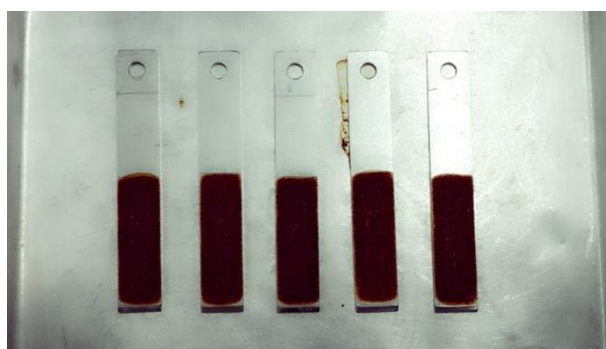
Dalam industri makanan, isu kelestarian bukan sahaja terhad kepada penggunaan tenaga bahkan juga termasuk penggunaan air dan penggunaan bahan kimia sebagai agen pembersihan. Industri makanan merupakan antara industri yang mencatatkan penggunaan air yang tinggi. Air merupakan antara bahan mentah dalam penghasilan produk makanan dan air juga digunakan sebagai medium pembersih perkakasan dan peralatan memproses makanan. Berikutan ini, kebanyakan syarikat makanan ternama seperti Nestle kini giat mencari operasi pemprosesan makanan dan pembersihan kilang yang lestari dengan mengurangkan penggunaan air. Walau bagaimanapun, ramai pemilik pengeluaran makanan tidak mengetahui mengenai mendapan kotor (fouling deposit), yang merupakan halangan utama untuk diatasi sebelum pengiktirafan "Kilang Hijau" menjadi kenyataan. Di sini, latar belakang mendapan kotoran diterangkan.

APAKAH ITU MENDAPAN KOTORAN (*FOULING DEPOSIT*)?

Pemendapan bahan terlarut atau terapung atau pertumbuhan organisma biologi biasanya terdapat di dalam bendalir yang terlibat dalam pertukaran haba. Fenomena ini boleh membentuk mendapan yang tidak dikehendaki di permukaan penukar haba, yang dikenali sebagai mendapan kotoran atau mendapan yang tidak diinginkan. Rajah 1 hingga 3 menunjukkan mendapan kotoran untuk pelbagai jenis makanan selepas proses pemanasan. Rajah 1 menunjukkan mendapan kotoran dari puri jambu batu merah jambu (PBJM) yang termendak di permukaan keluli tahan karat. Mendapan kotoran ini dijana menggunakan ketuhar panas di dalam makmal kejuruteraan Makanan di Jabatan Kejuruteraan Proses dan Makanan, UPM (Khalid et al., 2015a). Mendapan kotoran PBJM ini digunakan untuk mengkaji parameter proses pembersihan yang sesuai, optimal dan ekonomi bagi kilang pemprosesan PBJM. Khalid et al., (2015a) menghasilkan mendapan kotoran PBJM ini dengan meniru mendapan kotoran PBJM yang terbentuk di dalam alatan kilang pemprosesan PBJM. Mendapan kotoran ini tidak dapat dikutip atau diambil daripada permukaan penukar haba di kilang tersebut kerana prosedur pembukaan penukar haba untuk pembersihan rapi hanya berlaku setahun sekali. Hal ini akan mengganggu masa proses pengeluaran dan masa pekerja. Oleh sebab itu, pembentukan mendapan kotoran di makmal adalah salah satu kaedah alternatif yang menjimatkan masa dan wang untuk tujuan penyelidikan. Rajah 2 menunjukkan mendapan kotoran yang terbentuk daripada santan kelapa sawit (SKS) (Nordin et al., 2017). Mendapan SKS ini dihasilkan menggunakan alat pasteurisasi mini yang menggunakan proses parameter sebenar yang digunakan di industri SKS. Alat pasteurisasi mini ini menggunakan jumlah SKS yang sedikit dan tenaga yang diperlukan untuk proses pasteurisasi lebih rendah. Manakala Rajah 3 menunjukkan mendapan kotoran daripada sos cili selepas 3 jam proses pasteurisasi di Makmal Proses Angkutan Kejuruteraan Makanan di Jabatan Kejuruteraan Proses dan Makanan, UPM menggunakan alat penukar haba mini (Ali et al., 2014).



(a) Sebelum dibakar



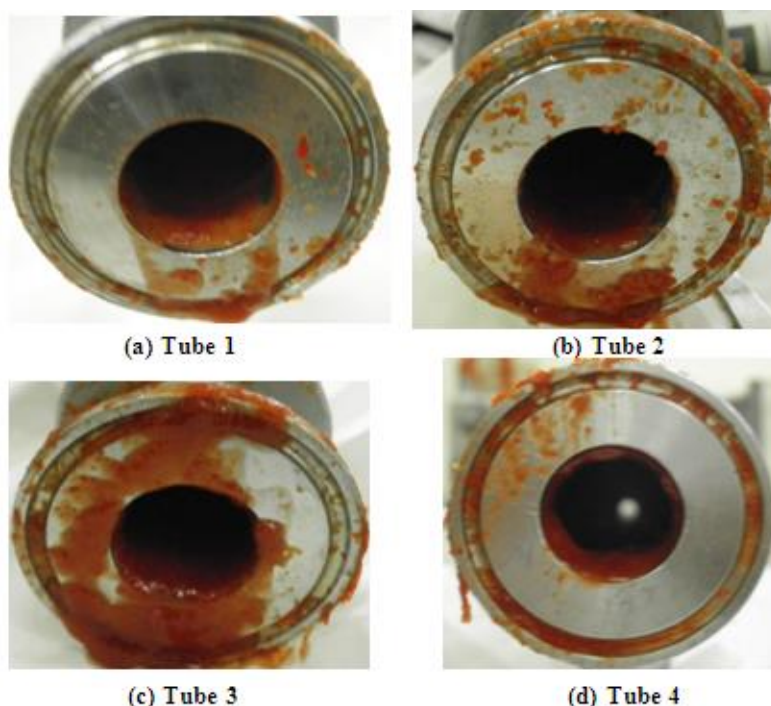
(b) Selepas dibakar pada suhu 100°C selama 1 jam

Rajah 1. Mendapan kotoran daripada PJBMJ (Khalid et al., 2015a)



(a) 5°C (Likat seperti gel) (b) 15°C (Seperti cecair pekat) (c) 25°C (Seperti Separapejal)

Rajah 2. Mendapan kotoran daripada santan kelapa sawit (SKS) (Nordin et al., 2017)



Rajah 3. Mendapan kotoran daripada sos cili (Ali et al., 2014)

Kehadiran mendapan kotoran bermakna lebih banyak bahan api dan tenaga diperlukan untuk mengekalkan haba ketika pemprosesan, dan ini boleh memberi kesan kepada kualiti pengeluaran produk makanan kerana pembentukannya boleh menghalang pemindahan haba dan meningkatkan rintangan terhadap aliran bendalir dan kerja penyelenggaraan (Somerscales & Knudsen, 1981).

Mendapan kotoran boleh terbentuk daripada bahan organik dan bukan organik. Setiap jenis produk pemprosesan makanan mempunyai mekanisme pembentukan mendapan yang berbeza. Jadual 1 menyenaraikan jenis mekanisme mendapan kotoran dan tahap masalah untuk bendalir daripada industri yang berbeza (Garrett-Price et al., 1985). Di antara industri yang tersenarai, mendapan kotoran dari dalam industri makanan dilihat paling kritikal. Bagi menjaga dan mengekalkan keselamatan makanan, adalah wajib bagi pihak industri makanan untuk memastikan kilang pemprosesan makanan mereka kekal dalam keadaan yang bersih. Keperluan ini adalah wajib dipenuhi mengikut Peraturan-Peraturan Kebersihan Makanan 2009.

Jadual 1: Beberapa jenis mekanisme pembentukan mendapan kotoran dan tahap masalah untuk bendalir daripada industri yang berbeza. Diadaptasi daripada Garrett-Price et al. (1985)

Jenis Industri	Mekanisme mendapan kotoran							
	Reaksi kimia		Kristalisasi	Biologi	Partikel		Kakisan	Pembekuan
Produk makanan dan seumpamanya	Major		Major	Sederhana	Minor	Major	Minor	
Produk kayu dan kertas	Minor		Major	Minor	Minor		Sederhana	
Bahan kimia dan sekutu dengannya	Minor	Major	Sederhana	Sederhana	Minor	Sederhana	Sederhana	
Penapisan petroleum	Major		Sederhana	Sederhana	Minor	Sederhana	Sederhana	
Kaca dan konkrit					Minor	Major		
Penjanaan elektrik			Sederhana	Major	Major		Minor	Major

Nota diskripsi daripada Bott (1995):

- **Kotoran daripada Reaksi kimia**, adalah apabila mendapan terbentuk disebabkan oleh tindak balas kimia pada permukaan pemindahan haba. Permukaan penukar haba bukan reaktan tetapi boleh memungkinkan reaksi.
- **Kotoran daripada kristalisasi** adalah pembentukan pepejal akibat pemendapan dari larutan ke permukaan pemindahan haba. Garam, lemak dan lilin yang tidak boleh larut boleh mengkristal pada permukaan yang sejuk, manakala garam larut, cth. kalsium karbonat, mengkristal di atas permukaan yang panas.
- **Kotoran biologi** adalah pembentukan lapisan nipis filem organik yang terdiri daripada mikroorganisma dan produk mereka (kotoran mikrobio) dan, perlekatan dan pertumbuhan makroorganism (macrobio fouling) seperti kupang.
- **Kotoran partikel** berlaku apabila zarah-zarah kecil yang terapung dan terkumpul di atas permukaan pemindahan haba. Produk tindak balas kimia, produk kakisan huluan dan pencemar ambien adalah contoh zarah yang terapung
- **Kotoran daripada kakisan** berlaku apabila cecair bereaksi dengan bahan pembuatan penukar haba dan menghasilkan produk kakisan pada permukaan pemindahan haba.

IMPAK KEHADIRAN MENDAPAN KOTORAN

Penggunaan pemprosesan terma atau haba sangat penting dalam mengekalkan keadaan pemprosesan makanan yang bersih dan proses ini juga dapat mengurangkan kehadiran pelbagai spesies berbahaya yang wujud dalam produk makanan (bakteria, virus dsb.). Ketika pemprosesan terma, mendapan kotoran terkumpul sedikit demi sedikit di atas permukaan pemprosesan makanan. Maka, pembersihan harian adalah kemestian bagi industri makanan untuk mengekalkan kualiti produk makanan agar selamat untuk dimakan, berkhasiat dan berkeadaan baik. Sebagai contoh, pembersihan harian adalah rutin dalam industri tenusu (Visser & Jeurnink, 1997). Kadar pembentukan mendapan kotoran dalam industri makanan adalah lebih tinggi berbanding industri lain. Ini disebabkan oleh bahan makanan yang sensitif terhadap haba dan ini menghalakkan proses mendapan kotoran.



Produk susu (Burton, 1968; Miettinen et al., 1999), sos keju (Li et al., 2004), mayonis, pes tomato (Cheow & Jackson, 1982b) dan jus buah (Jiratananon & Chanachai 1996), adalah antara beberapa produk makanan yang menjana mendapan kotoran ketika pemprosesan bahan makanan. Jadual 2 menyenaraikan sifat bahan makanan utama. Kotoran mendapan yang terdiri daripada protein dikelaskan sebagai kuat atau sukar untuk disingkirkan. Secara umumnya, makanan mengandungi beberapa komponen; Sebagai contoh, ais krim terdiri daripada lemak, protein, gula dan garam. Oleh kerana struktur heterogenya, mendapan kotoran makanan adalah kompleks untuk difahami.

Jadual 2: Komponen mendapan, kelarutan dan perubahan mendapan kotoran selepas pemanasan (Terjemahan daripada Grasso, 1997)

Komponen mendapan	Kelarutan	Tahap kemudahan penyingkiran	Perubahan selepas pemanasan
Gula	Larut dalam air	Mudah	Karamelisasi: Semakin sukar untuk dibersihkan
Lemak	Larut dalam air dan alkali	Sukar	Pempolimeran: Semakin sukar untuk dibersihkan
Protein	Tidak larut dalam air, larut dalam alkali, larut sedikit dalam asid	Sangat sukar	Denaturasi: Sangat sukar untuk dibersihkan
Garam mineral	Sesetengah tidak larut dalam air, larut dalam asid.	Mudah hingga sukar	Interaksi dengan konstituen yang lain: semakin mudah dibersihkan

Memandangkan industri makanan memerlukan pembersihan yang kerap, lebih banyak langkah berjaga-jaga diperlukan. Jika pembentukan mendapan kotoran tidak dipantau dengan sewajarnya, peningkatan dalam kerja penyelenggaraan, kos penyelenggaraan, kos bahan api dan perbelanjaan modal boleh berlaku (Fryer et al., 1995; Pritchard, 1988). Malahan, kos pengeluaran juga akan meningkat. Di samping itu, penalti yang besar boleh ditanggung sekiranya keselamatan produk makanan dikompromi. Hasting (1995) melaporkan bahawa kos bagi pencemaran makanan boleh mencapai setinggi £ 400 juta. Nilai ini tinggi kerana pencemaran makanan boleh membawa maut kepada pengguna dan mengakibatkan kehilangan keyakinan pengguna yang besar dalam jenama sesuatu produk makanan.

KOS TERJANA AKIBAT MASALAH MENDAPAN KOTORAN

Masalah mendapan kotoran boleh menambah kos pengeluaran. Dalam industri makanan, salah satu daripada kos utama adalah disebabkan oleh kos pembersihan. Beberapa faktor yang mempengaruhi kos pembersihan telah disenaraikan oleh Gillham (1997):

- Penggunaan bahan kimia sebagai ejen pencuci.
- Penggunaan tenaga untuk memanaskan dan mengepam larutan pembersihan.
- Kerugian pengeluaran kerana pembersihan,
- Rawatan air sisa dari proses pembersihan,
- Kos untuk buruh untuk membuka peralatan sebelum memulakan kerja pembersihan, dan
- Kos *downtime* semasa pembersihan kilang.

Secara amnya, kos persekitaran adalah perbelanjaan pembersihan yang terbesar. Bahan kimia untuk pembersihan juga merupakan perbelanjaan yang agak tinggi dalam peratusan kos pembersihan. Kane & Middlemiss, (1985) melaporkan bahawa penjualan bahan kimia untuk pembersihan global melebihi \$ 1 bilion setahun. Kos pembersihan dalam industri makanan lebih mahal berbanding daripada industri proses lain. Oleh itu, adalah amat penting untuk mengurangkan penggunaan bahan kimia untuk pembersihan, air untuk pemprosesan, masa pembersihan, dan menggunakan peralatan pemprosesan yang memenuhi standard reka bentuk *hygiene*. Pembersihan yang optimum akan mengurangkan kos kesan daripada mendapan kotoran dan dapat melindungi alam sekitar.



Kos penggunaan bahan kimia sebagai ejen pembersihan melingkungi peratusan yang besar dalam kos keseluruhan proses pembersihan (Khalid et al., 2016). Kajian yang dijalankan oleh Khalid et al., (2016) menunjukkan bahawa pembersihan yang dilakukan dengan kepekatan yang tinggi iaitu 2.0wt% NaOH memerlukan hampir lebih daripada \$1400 untuk setiap m² kawasan mendapan kotoran, berbanding pembersihan yang dilakukan tanpa NaOH (tanpa bahan kimia). Walau bagaimanapun, pembersihan tanpa NaOH kebanyakannya tidak dapat mencapai 100% keadaan bersih fizikal. Oleh itu penggunaan ejen pembersihan adalah amat penting dalam pembersihan. Keperluan untuk mencari ejen pembersihan alternatif telah menjadi perhatian pelbagai pihak kerana keprihatinan yang tinggi terhadap kesihatan alam sekitar.

KEADAAN SEMASA UNTUK MENYELESAIKAN MASALAH MENDAPAN KOTORAN

Pelbagai usaha telah dilakukan untuk mengurangkan pembentukan mendapan kotoran di kilang makanan. Walau bagaimanapun, keperluan untuk resepi atau proses pembuatan makanan untuk mengurangkan mendapan kotoran adalah tidak sesuai untuk kebanyakan pengeluaran makanan. Banyak kaedah telah dicipta untuk mengurangkan masalah mendapan kotoran seperti penggunaan kaedah mekanikal dalam pencucian, permukaan peralatan pemprosesan makanan yang kurang daya perlekatan dan pembersihan setempat (*Cleaning-in-place*). Kaedah mekanikal, seperti *ice pigging* (Quarini, 2002), umumnya terhad kepada bentuk peralatan (mis. Penukar haba tiub). Penggunaan teknologi permukaan yang diubahsuai dalam industri makanan masih disiasat kerana penciptaan permukaan baru yang mempunyai fungsi yang lebih baik (contohnya tahan bahan kimia, tahan kakisan, tahan haus atau tahan lasak, sifat elektrik dan tidak melekat) adalah sukar dan mahal (Bornhorst et al., 1999; Muller-Steinhagen et al., 2000).

Pembersihan setempat atau *Cleaning-in-Place (CIP)* adalah teknik yang paling sering digunakan untuk mengurangkan mendapan kotoran makanan. Walau bagaimanapun, pembersihan setempat boleh menjadi tidak ekonomi dari segi *downtime* dan bahan (Changani et al., 1997). Pada masa kini, pasaran makanan didominasi oleh peruncit gergasi seperti Tesco, Asda dan Sainsbury. Oleh kerana persaingan yang tinggi, industri makanan mesti menawarkan harga yang lebih murah. Salah satu cara untuk mencapai ini adalah dengan mengurangkan kos pengeluaran. Ini boleh dilakukan dengan menggunakan kaedah pembersihan yang optimum. Untuk mengoptimumkan pembersihan, adalah amat penting untuk memahami mekanisme penyingkiran mendapan kotoran dan mempunyai pengetahuan tentang sifat bahan mendapan kotoran semasa pembersihan. Ini dapat mengurangkan kos penyelenggaraan dan juga kerugian pengeluaran.

PEMBERSIHAN SETEMPAT (*CLEANING-IN-PLACE (CIP)*)

Pembersihan setempat dicipta untuk memudahkan kaedah pembersihan lama di mana peralatan dibuka sebelum pembersihan. Dalam proses ini, agen pembersihan yang panas disalurkan melalui alatan dan sistem perpaipan pemprosesan makanan (Alfa-Laval, 1987). Müller-Steinhagen (2000) dan Liu & Macchietto (1993) berpendapat bahawa pembersihan setempat adalah lebih baik berbanding kaedah mekanikal. Pembersihan setempat biasanya melibatkan beberapa langkah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4.

Semua industri mempunyai tahap kebersihan tersendiri untuk dicapai. Tahap kebersihan ini boleh turun hingga ke skala nano atau boleh juga dikenali sebagai kebersihan berskala atom. Kebanyakan industri makanan menetapkan bersih dari segi fizikal (*physically clean*) sebagai tahap kebersihan yang perlu mereka capai selepas pembersihan dilakukan. Walaupun sesuatu permukaan boleh kelihatan bersih dari segi fizikal, namun residu kimia mungkin tetap ada. Bersih dari segi kimia (*chemically clean*) adalah perlu untuk memastikan permukaan peralatan makanan bersih sepenuhnya daripada sebarang bahan yang boleh menjejaskan pemprosesan produk makanan. Bersih dari segi biologi (*biologically clean*) bermakna permukaan peralatan makanan mempunyai tahap mikroorganisma yang tidak berbahaya. Kebiasaannya, tujuan pembersihan setempat dalam pengeluaran makanan adalah bertujuan untuk mempunyai permukaan yang bersih daripada bahan kimia dan mikroorganisma.

Terdapat dua jenis rawatan pembersihan setempat yang diiktiraf dalam pemprosesan produk susu (Timperley & Smeulders, 1987) iaitu:



- i) Dua peringkat: peringkat pertama menggunakan bahan kimia berasaskan alkali manakala peringkat kedua menggunakan bahan kimia berasaskan asid.
- ii) Satu peringkat: detergen yang dirumus khas digunakan, dimana detergen berkenaan mengandungi sebatian, seperti natrium hidroksida, ejen aktif permukaan dan ejen chelating, untuk meningkatkan pembersihan.

Jadual 4: Kitaran pembersihan dalam pembersihan setempat

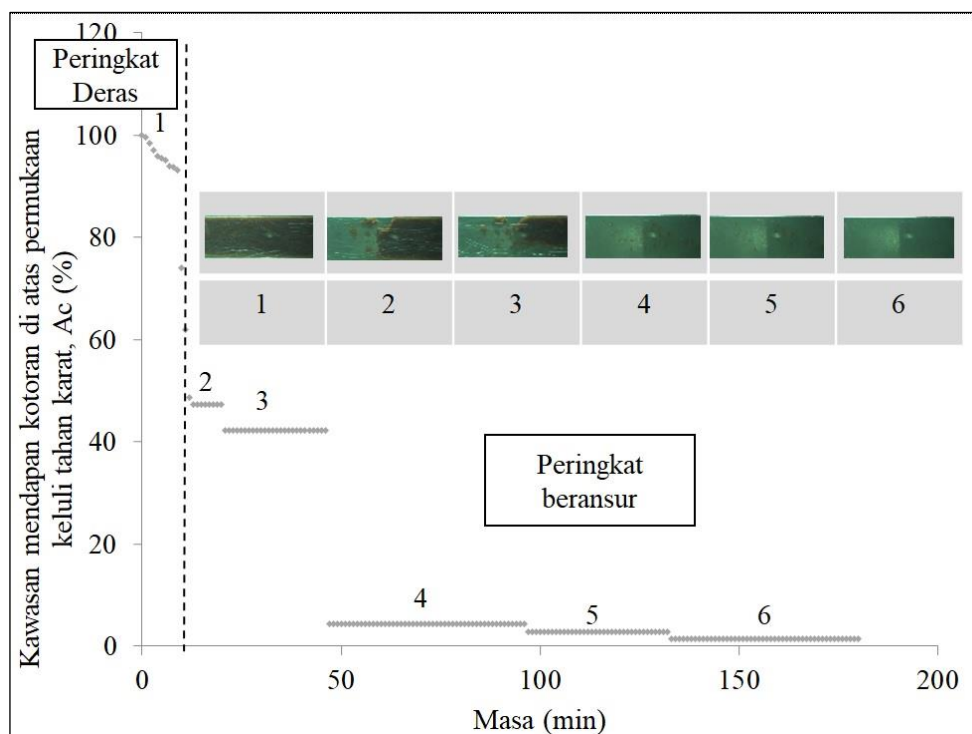
Kitaran	Fungsi
Pra-bilas	Tahap di mana mendapan kotoran yang longgar akan dikeluarkan daripada permukaan alatan pemprosesan. Air sering digunakan di peringkat ini.
Kitaran detergen	Perubahan bentuk mendapan kotoran dan kebanyakan penyingkiran mendapan kotoran berlaku di sini. Secara amnya, penyingkiran dibantu dengan menggunakan ejen pembersihan (detergen) yang berasaskan asid atau alkali. Beberapa kaedah pembersihan setempat memerlukan lebih daripada satu kitaran detergen, dalam kes ini, bilas pertengahan diperlukan.
Selepas pembilasan	Air digunakan untuk membilas kawasan pemprosesan dari baki sisa kotoran dan detergen
Sanitasi	Proses pembasmian kuman dan proses penyejukan permukaan.
Bilasan terakhir	Air dikitarkan sehingga tahap kebersihan yang dikehendaki tercapai. Selepas tamat pembersihan setempat, aktiviti pengeluaran boleh diteruskan.

Natrium hidroksida (NaOH) adalah bahan kimia atau ejen pembersih yang lazim digunakan dalam beberapa kajian tentang penyingkiran mendapan kotoran makanan (Cheow & Jackson, 1982a, Romney, 1990; Bird & Fryer, 1991; Gillham, 1997; Liu et al., 2007). Disebabkan oleh keadaan NaOH yang sangat beralkali (biasanya pH 12 hingga pH 13), NaOH menggalakkan pemecahan ikatan peptida dalam protein. Walau bagaimanapun, asid diperlukan untuk menyingkirkan lapisan mineral daripada permukaan peralatan makanan. Penambahan bahan tambahan dan detergen di dalam bahan kimia pembersihan satu peringkat membolehkan kedua-dua mendapan kotoran (protein dan mineral) disingkirkan secara serentak. Beberapa penyelidik telah mengkaji pengoptimalan proses pembersihan setempat. Hiddink & Brinkman (1984) dan Timperley & Smeulders (1987) membandingkan kedua-dua jenis rawatan pembersihan setempat dan mendapati bahawa rawatan satu peringkat lebih menjimatkan kerana pengurangan air bilasan, penggunaan tenaga dan *downtime*. Smaili et al. (1999) telah mereka dan meminimumkan tempoh masa pembersihan untuk mengurangkan kos pembersihan bagi kilang pemprosesan gula, yang telah diterangkan dalam beberapa siri kertas - kertas jurnal (Smaili et al., 2002b; Smaili et al., 2002a).

Walaupun bagaimanapun, beberapa kajian juga telah dijalankan untuk mengkaji pembersihan yang optimum bagi pengeluaran makanan tropika. Contohnya seperti pembersihan mendapan kotoran daripada puri jambu batu merah jambu (PBJMJ) oleh Khalid et al., (2014, 2015b, 2015c dan 2016), jus jambu batu merah jambu (JJBMJ) oleh Ong et al., (2012) dan Ho et al., (2010). Khalid et al., (2014, 2015b, 2015c dan 2016) mengkaji peringkat pembersihan menggunakan ejen pembersihan yang berasaskan alkali pada parameter yang berbeza iaitu pada: suhu (35-70°C), halaju bendalir (0.6-1.5 m/s) dan kepekatan NaOH (0-2.0 wt%). Rajah 4 menunjukkan profil pembersihan pada suhu 35°C and 2.0 wt% NaOH dengan halaju bendalir 0.6m/s. Profil pembersihan telah menunjukkan bahawa terdapat dua peringkat pembersihan iaitu: peringkat deras dan peringkat beransur. Tindak balas pembersihan bagi kedua-dua peringkat ini telah disiasat dengan menggunakan pemalar kadar penyingkiran berkesan, k_2 . Hasil penemuan mencadangkan bahawa pembersihan boleh diintegrasikan kepada beberapa jenis protokol pembersihan: 1) pembersihan yang melampau; 2) pembersihan optimum dengan pengaliran semula air dan 3) pembersihan yang optimum. Kos bagi setiap protokol pembersihan telah dikira dan kajian membuktikan bahawa protokol pembersihan kedua lebih ekonomi berbanding dengan protokol pembersihan yang lain. Dalam protokol pembersihan kedua, urutan pembersihan yang dicadangkan adalah: (1) pra-bilas dengan air pada suhu 35°C, 0.6m/s selama 2 minit, (2) kitaran ejen pembersihan berasaskan alkali pada 70°C, 1.2 m/s, 1.5wt% NaOH selama 2 minit, (3) kitaran air pada 35°C, 0.6m/s selama 10 minit dan (4) bilasan akhir dengan air pada 35°C, 1.5m/s selama 2 minit. Dengan



membezakan peringkat pembersihan yang cepat dan beransur dari profil pembersihan, kitaran alkali boleh dihentikan sebaik sahaja proses pembersihan mencapai peringkat beransur, dimana pada peringkat beransur pembersihan hanya memerlukan bilasan akhir atau kitaran semula menggunakan air sahaja. Protokol pembersihan pertama dan kedua merekodkan masa pembersihan yang sama iaitu 16 minit. Namun, parameter pembersihan yang dicadangkan dalam protokol pembersihan kedua dapat menjimatkan kos sehingga 25% untuk kitaran alkali. Dengan menganalisis kadar penyingkiran yang berkesan k_2 , pembersihan setempat boleh dilakukan secara konvensional tanpa proses pembersihan tambahan dan pengubahsuaian pada peralatan pembersihan. Oleh itu, proses pembersihan setempat yang ekonomi yang dicadangkan oleh Khalid et al., (2016) boleh digunakan sebagai panduan dalam industri PJBMJ.



Rajah 4: Profil pembersihan pada suhu 35 °C and 2.0 wt% NaOH dengan halaju 0.6 m/s.

KESIMPULAN

Kesedaran Malaysia terhadap masalah mendapan kotoran dan pentingnya proses pembersihan dalam industri makanan sangat rendah. Ini disebabkan oleh kurangnya usaha pendidikan dan promosi dari pihak berkuasa yang berkaitan.

Bagi pihak industri, tanpa teknik pembersihan yang betul, kos pengeluaran akan meningkat dengan ketara berikutan penggunaan bahan kimia pembersihan yang berlebihan, pembaziran air, kerja penyelenggaraan, pemanasan bahan api, *downtime* dan kehilangan pengeluaran. Manakala kesannya kepada orang ramai pula, harga makanan yang kompetitif boleh menjadi sukar untuk diperoleh dan pembuangan efluen lebih banyak boleh mencemari sumber air kita. Sehubungan itu, kajian kesan pembersihan terhadap mendapan kotoran yang spesifik adalah penting dijalankan untuk mencari teknik pembersihan yang sesuai dan optimum.

PENGHARGAAN

Jutaan terima kasih diucapkan kepada Sime Darby Beverages Sdn. Bhd., Sitiawan, Malaysia, ECOLAB Malaysia, Jabatan Kejuruteraan Proses dan Makanan, Universiti Putra Malaysia dan semua pihak yang menyumbang dan meyokong dalam kerja penyelidikan ini.



RUJUKAN

1. Alfa -Laval (1987) *Dairy Handbook. Alfa-Laval*, Food Eng., AB, Lund, Sweden
2. Ali, N.A., Khalid, N.I., Aziz, N.A., Shamsudin, R., Taip, F.S. (2014). Investigation of fouling deposit formation during pasteurization of chili sauce by using lab-scale concentric tube-pasteurizer. *Journal of Engineering Science and Technology* 9 (3), pp. 334-346.
3. Bird, M.R. and Fryer, P.J. (1991) An experimental study of the cleaning of surfaces fouled by whey proteins. *Food and Bioproducts Processing* 69, 13-21.
4. Bornhorst, A., Muller-Steinhagen, H., and Zhao, Q. (1999) Reduction formation under pool boiling conditions by ion implantation and magnetron sputtering on heat transfer surfaces. *Heat Transfer Engineering* 20, 6-14.
5. Bott T.R. (1995) *Fouling of Heat Exchangers*. Elsevier Science, New York, USA.
6. Burton, H. (1968) Reviews of Progress of Dairy Science - Section G Deposits from Whole Milk in Heat Treatment plant- A Review and Discussion. *Journal of Dairy Research* 35, 317.
7. Changani, S.D., BelmarBeiny, M.T., and Fryer, P.J. (1997) Engineering and chemical factors associated with fouling and cleaning in milk processing. *Experimental Thermal and Fluid Science* 14, 392-406.
8. Chew, C.S. and Jackson, A.T. (1982a) Circulation Cleaning of A Plate Heat-Exchanger Fouled by Tomato Juice .2. Cleaning with Caustic Soda Solution. *Journal of Food Technology* 17, 431-440.
9. Chew, C.S. and Jackson, A.T. (1982b) Circulation Cleaning of A Plate Heat-Exchanger Fouled by Tomato Juice .1. Cleaning with Water. *Journal of Food Technology* 17, 417-430.
10. Chew, C.S. and Jackson, A.T. (1982b) Circulation Cleaning of A Plate Heat-Exchanger Fouled by Tomato Juice .1. Cleaning with Water. *Journal of Food Technology* 17, 417-430.
11. Fryer P.J., Belmar-Beiny M.T., Schreier P.J.R., and Fox P.F. (1995) Fouling and cleaning in milk processing. *Bulletin of the International Dairy Federation* 364-395.
12. Garrett-Price B.A., Smith S.A., and Watts R.L. (1985a) *Fouling of Heat Exchangers: Characteristics, Costs, Prevention, Control and Removal*. Noyes Publications.
13. Gillham C.R. (1997) *Enhanced cleaning of surfaces fouled by whey proteins*. University of Cambridge, Cambridge, UK.
14. Grasso A. (1997) *Cleaning of heat treatment equipment*. In H.Visser (Ed) IDF, Brussels.
15. Hasting, T. (1995) *Good Enough to Eat*. Chemical Engineer-London 19-20.
16. Hiddink J. and Brinkman D.W. (1984) *Cleaning in place in the dairy industry: some energy aspects*. In B.M. McKenna (Ed) *Cleaning in Place*. Elsevier Applied Science, London, UK.
17. Ho, A. L., Tan, V. C., Ab. Aziz, N., Taip, F.S., and Ibrahim, M.N. (2010). Pink Guava Juice Pasteurisation: Fouling Deposit and cleaning studies. *Journal - The Institution of Engineers, Malaysia*. 71(4): 50-62.
18. Jiraratanon, R. and Chanachai, A. (1996) A study of fouling in the ultrafiltration of passion fruit juice. *Journal of Membrane Science* 111, 39-48.
19. Kane D.R. and Middlemiss N.E. (1985) *Cleaning chemicals - state of the knowledge in 1985*. In D.B. Lund, E.Plett, and C. Sandu (Eds) *International Conference on Fouling and Cleaning in Food Processing*. Madison, USA.
20. Khalid, N.I., N.Ab Aziz, A.A. Nuraini, F.S. Taip, Anuar, M.S (2014). Alkaline Cleaning-in-Place of Pink Guava Puree Fouling Deposit using Lab-scale Cleaning Test Rig. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2 (2014) 280 - 288
21. halid, N.I. (2015a). Kinetics of Fouling Deposit Removal of Pink Guava Purees in a Cleaning-In-Place Test Rig. Master Thesis, University Putra Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia.
22. Khalid, N.I., Nordin, N., Abdul Aziz, N., Ab. Aziz, N., Taip, F.S., Anuar, M.S. (2015b). Design of a Test Rig for Cleaning Studies and Evaluation of Laboratory-Scale Experiments Using Pink Guava Puree as a Fouling Deposit Model. *Journal of Food Process Engineering* 38 (6), pp. 583-593. (Q2)
23. Khalid, N.I., Nordin, N., N.Ab Aziz, A.A. Nuraini, Taip, F.S., and Ahmedov A., (2015c). Removal Kinetics of Pink Guava Puree Fouling Deposit from a Stainless Steel Surface during Alkaline Cycle. *Proceeding of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning*, June 7-12, 2015, Enfield, Ireland.
24. Khalid, N.I., Nordin, N., Chia, Z.Y., Ab Aziz, N., Nuraini, A.A., Taip, F.S., Ahmedov, A. (2016). A removal kinetics approach for evaluation of economic cleaning protocols for pink guava puree fouling deposit. *Journal of Cleaner Production* 135, pp. 1317-1326.
25. Li, L., Singh, R.K., and Lee, J.H. (2004) Process conditions influence on characteristics of holding tube fouling due to cheese sauce. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie-Food Science and Technology* 37, 565-572.
26. Liu, Z.H. and Macchietto, S. (1993) Cleaning in place policies for a food processing batch pilot plant. *Food and Bioproducts Processing* 71, 194-196.



27. Liu, W., Aziz, N.A., Zhang, Z., and Fryer, P.J. (2007) Quantification of the cleaning of egg albumin deposits using micromanipulation and direct observation techniques. *Journal of Food Engineering* 78, 217-224.
28. Miettinen, M.K., Bjorkroth, K.J., and Korkeala, H.J. (1999) Characterization of *Listeria monocytogenes* from an ice cream plant by serotyping and pulsed-field gel electrophoresis. *International Journal of Food Microbiology* 46, 187-192.
29. Müller-Steinhagen H. (2000) *Heat Exchanger Fouling: Mitigation and Cleaning Techniques*. IEEE.
30. Muller-Steinhagen, H., Zhao, Q., Helali-Zadeh, A., and Ren, X.G. (2000) The effect of surface properties on CaSO₄ scale formation during convective heat transfer and subcooled flow boiling. *Canadian Journal of Chemical Engineering* 78, 12-20.
31. Nordin, N., Karudin, R., Rosli, I. H., Aziz, N.A., Taip, F.S., Mohammed, M.A.P., Abdul Aziz, N. (2017) Preliminary study on formation of ex situ fouling deposit from palm-based coconut milk substitute and RBD palm oil. *Journal of Acta Horticulturae*, 1152, 345- 351.
32. Ong, C.A., Abdul Aziz, N., Taip, F.S., and Ibrahim, M.N. (2012). Ex-Situ Experimental Set-Up for Pink Guava Juice Fouling Deposit Study. *Pertanika Journal of Science and Technology*. 20 (1): 109–119.
33. Pritchard, A.M. (1988) *The economics of fouling*. In L.F. Melo, T.R. Bott, and C.A. Bernardo (Eds) Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
34. Quarini, J. (2002) Ice-pigging to reduce and remove fouling and to achieve cleaning-in-place. *Applied Thermal Engineering* 22, 747-753.
35. Romney A.J.D. (1990) *CIP: Cleaning in Place*. Society of Dairy Technology, London, UK.
36. Smaili, F., Angadi, D.K., Hatch, C.M., Herbert, O., Vassiliadis, V.S., and Wilson, D.I. (1999) Optimization of scheduling of cleaning in heat exchanger networks subject to fouling: Sugar industry case study. *Food and Bioproducts Processing* 77, 159-164.
37. Smaili, F., Vassiliadis, V.S., and Wilson, D.I. (2002b) Optimization of cleaning schedules in heat exchanger networks subject to fouling. *Chemical Engineering Communications* 189, 1517-1549.
38. Smaili, F., Vassiliadis, V.S., and Wilson, D.I. (2002a) Long-term scheduling of cleaning of heat exchanger networks - Comparison of outer approximation-based solutions with a backtracking threshold accepting algorithm. *Chemical Engineering Research & Design* 80, 561-578.
39. Somerscales E.F.C. and Knudsen J.G. (1981) *Fouling of Heat Transfer Equipment*. Hemisphere Publishing Corp., Washington, USA.
40. Timperley, D.A. and Smeulders, C.N.M. (1987) Cleaning of dairy HTST plate heat exchangers: comparison of single- and two-stage procedures. *Journal of the Society of Dairy Technology* 40, 4-7.
41. Visser, J. and Jeurink, T.J.M. (1997) Fouling of heat exchangers in the dairy industry. *Experimental Thermal and Fluid Science* 14, 407-424.

