

IMPLEMENTASI *FAULT TREE ANALYSIS* PADA SISTEM PRODUKSI GULA SEMUT SEBAGAI INDUSTRI KREATIF DESA GINTANGAN BANYUWANGI

Auda Nuril Zazilah¹, Putu Ngurah Rusmawan², I Putu Sudhyana Mecha³
^{1,2,3}Politeknik Negeri Banyuwangi, Jalan Raya Jember KM 13 Kabat, Banyuwangi
¹audanuril@poliwangi.ac.id

Abstrak

Analisis Fault Tree merupakan konsep Matematika yang bertujuan untuk mengetahui penyebab kegagalan suatu sistem, termasuk pada sistem produksi gula semut. Industri kreatif gula semut Banyuwangi terletak di Dusun Gumuk Agung dan terus berkembang karena jumlah sumber air nira pohon kelapa yang berlimpah. Permasalahan yang dihadapi yaitu sering terjadinya kegagalan pada sistem produksi gula semut. Teknik analisis dalam penelitian ini adalah *fault tree analysis*. Hasil penelitian dapat dinyatakan bahwa produksi gula semut mengalami beberapa cacat yaitu rasa yang asam, kristalisasi gula tidak sempurna, warna gula yang gelap dan serbuk yang kasar. Dengan menggunakan metode *fault tree analysis*, diperoleh enam minimal *cut-set* yang didapat yakni nira yang tidak langsung diolah, nira tidak disaring, buih saat pemanasan tidak dibuang, kadar air terlalu banyak, pengadukan kurang cepat, dan ketidakteelitian saat mengayak. Solusi yang dapat diterapkan adalah menutup bumbung dengan rapat selain pada aliran masuk nira, melakukan penyuluhan secara berkala dan membuat prosedur pengolahan gula semut. Selain itu, dibutuhkan adanya standarisasi ukuran kadar air, kecepatan pengadukan dan penambahan proses ayakan. Hasil ini diharapkan menjadi pedoman bagi para petani atau penderes agar diperoleh sistem produksi gula semut yang baik dan optimal untuk waktu berikutnya.

Kata Kunci: Fault tree analysis; gula semut; sistem produksi; industri kreatif.

Abstract

Fault Tree Analysis is a mathematical concept that aims to determine the cause of the failure of a system, including the palm sugar production system. The Banyuwangi ant sugar creative industry is located in Gumuk Agung and continues to grow due to the abundance of coconut tree sap water sources. The problem faced is the frequent occurrence of failures in the ant sugar production system. This research uses fault tree analysis method. The results showed that the production of ant sugar experienced several defects, namely sour taste, imperfect sugar crystallization, dark sugar color and coarse powder. By using the fault tree analysis method, there are six minimum cut-sets obtained, namely juice that is not directly processed, juice is not filtered, foam when heating is not removed, water content is too much, stirring is not fast enough, and inaccuracy when sifting. The solution that can be applied is to close the roof tightly in addition to the inflow of sap, conduct regular counseling and make procedures for processing ant sugar. In addition, it is necessary to standardize the size of the moisture content, stirring speed and the addition of a sieve process. These results are expected to be a guideline for farmers in order to obtain a good and optimal ant sugar production system for the next time.

Keywords: Fault tree analysis; ant sugar; production system; creative industry.

Pendahuluan

Dalam sebuah sistem produksi, keberhasilan menjadi suatu hal yang diharapkan. Kegagalan yang ditimbulkan dalam sistem produksi dapat menyebabkan kerugian bagi suatu industri. Untuk mencegah maupun meminimalisir kegagalan yang dapat terjadi, maka perlu dianalisis penyebab kegagalan tersebut. Dengan demikian, penyebab kegagalan dapat dihindari.

Industri kreatif gula semut Banyuwangi yang terletak di Dusun Gumuk Agung Desa Gintangan terus berkembang karena potensi jumlah sumber air nira pohon kelapa yang berlimpah dan kualitas produk yang dihasilkan. Akan tetapi, hasil produksi gula semut tersebut tidak selalu berhasil. Berdasarkan data produksi Tahun 2019, sebanyak 16% total produksi mengalami kegagalan. Kegagalan tersebut terlihat dari rasa, bentuk dan warna. Produk yang cacat tentu menyebabkan kerugian bagi produsen gula semut. Hal ini pula yang menjadi penyebab produsen menurunkan frekuensi produksi gula semut mereka.

Fault tree merupakan gambaran dari suatu fungsi logika yang menunjukkan hubungan antara kejadian puncak yang dalam hal ini adalah kegagalan pada sistem dengan penyebab-penyebab kegagalan (Fitria, 2009). Apabila penyebab secara bersama-sama turut andil pada sebuah kegagalan maka digunakan istilah *AND*. Sedangkan apabila satu penyebab andil pada sebuah kegagalan maka digunakan istilah *OR*.

Analisis *fault tree* pertama kali digunakan oleh *Bell Telephone Laboratories* sehubungan dengan analisis keamanan sistem kontrol dari peluncuran *Minuteman Missile* pada tahun 1962 (Noviyanti, L., dkk, 2014). Analisis *fault tree* telah diterapkan pada identifikasi bencana yakni kecelakaan lokomotif (Meiqiong, 2012), drainase perkotaan (Veldhuis, 2011) dan penaksiran *downtime* fasilitas akibat gempa bumi (Porter, 2012). Fungsi analisis *fault tree* dapat dilihat pada saat identifikasi penyebab terjadi suatu event yang tidak diinginkan dan menyediakan data kuantitatif untuk manajemen resiko (Veldhuis, 2011).

Industri gula semut berawal dari industri gula merah. Gula merah terbuat dari bahan alami yang bagus untuk kesehatan. Sedangkan kekurangannya yaitu dapat mencairnya gula merah jika disimpan dalam suhu ruang dengan kondisi pengemasan yang kurang baik. Disisi lain, gula semut dapat bertahan lama tanpa penambahan bahan pengawet (Ningtyas, 2014). Oleh karena itu, muncul ide untuk memproduksi gula semut di Dusun Gumuk Agung.

Informasi yang diperoleh dari Pemilik UMKM gula semut menyebutkan bahwa intensitas terjadinya kecacatan atau kegagalan selama sekali produksi yaitu sebesar 16% dari jumlah total produksi. Tingkat kegagalan yang cukup tinggi ini sangat merugikan produsen

gula semut. Di sisi lain, alur dalam proses produksi gula semut lebih rumit dan membutuhkan ketelitian yang tinggi daripada proses produksi gula merah atau gula aren. Intensitas kegagalan yang tinggi dan alur proses produksi yang lebih rumit membuat jumlah produksi gula semut semakin menurun. Produsen gula semut di Dusun Gumuk Agung menginginkan adanya solusi yang dapat meminimalisir tingkat kegagalan selama produksi gula semut. Dengan adanya solusi yang meminimalisir kegagalan, diharapkan hal ini dapat menjadikan industri gula semut terus berkembang dan tidak punah. Industri gula semut di Dusun Gumuk Agung menjadi sektor utama ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, penyebab kegagalan produksi gula semut harus diteliti sehingga dapat mencegah dan meminimalisir terjadinya kegagalan.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Dusun Gumuk Agung Desa Gintangan Kecamatan Blimbingsari Kabupaten Banyuwangi. Subjek penelitian adalah para petani gula semut atau penderes yang ada di Dusun Gumuk Agung. Pendekatan pada penelitian ini menggunakan *mix method* (metode campuran). Terdapat dua jenis data yang diambil yaitu data kuantitatif berupa frekuensi kegagalan pada proses produksi dan data kualitatif berupa penyebab kegagalan pada proses produksi. Pengumpulan data dengan observasi lapangan, studi literatur, dokumentasi dan wawancara. Narasumber pada wawancara penelitian ini yaitu produsen gula semut di Dusun Gumuk Agung dan Pemerintah Desa. Data yang didapatkan setelah melakukan wawancara yaitu berupa alur produksi gula semut, kegagalan yang dialami, intensitas kegagalan yang dialami, dan potensi industri gula semut di Dusun Gumuk Agung.

Setelah memperoleh data, data kuantitatif dianalisis dengan teknik *fault tree analysis*. Adapun data kualitatif yang diperoleh dianalisis dengan reduksi data. Langkah kerja yang digunakan dalam teknik *fault tree analysis* adalah mendefinisikan sistem, mendefinisikan *Top Event*, eksplorasi, membangun *fault tree*, analisis kualitatif, analisis kuantitatif dan Kesimpulan. Langkah kerja yang digunakan dalam reduksi data adalah dengan

Hasil dan Pembahasan

Produk gula semut merupakan produk khas yang dimiliki Kabupaten Banyuwangi. Melimpahnya pohon kelapa di Dusun Gumuk Agung dimanfaatkan warganya untuk menghasilkan nira yang selanjutnya diolah menjadi gula semut. Dari segi kesehatan, gula semut sangat bagus karena semua komponennya menggunakan bahan alami dan alat yang steril.

Tahapan pada proses produksi gula semut yaitu dimulai dari penyadapan nira, pengadukan nira dalam keadaan panas selama 1-3 jam, kristalisasi dan pengayakan sehingga menjadi serbuk. Kegagalan produk sangat rentan terjadi apabila pada setiap tahapan tersebut terjadi kesalahan atau tidak teliti. Berikut adalah tahapan proses produksi gula semut.



Gambar 1. Proses pengolahan gula semut

Dalam proses produksi gula semut, penderes mengalami beberapa kali kegagalan. Berikut data frekuensi dan kegagalan produksi gula semut selama satu tahun.

Tabel 1. Data Defect Produksi Gula Semut

No	Bulan	Total Produksi	Rasa Asam	Kristalisasi Tidak Sempurna	Warna Gelap	Serbuk Kasar	Jumlah
1	Januari	25	3	0	1	0	4
2	Februari	23	3	0	0	1	4
3	Maret	21	3	0	0	1	4
4	April	22	3	1	0	0	4
5	Mei	19	2	0	0	1	3
6	Juni	17	3	0	0	0	3
7	Juli	20	2	1	1	0	4
8	Agustus	17	2	0	0	0	2
9	September	19	1	1	0	0	2
10	Oktober	20	1	0	1	0	2
11	November	17	2	0	1	0	3
12	Desember	16	2	0	0	1	3
Jumlah		236	27	3	4	4	38
Persentase			11%	1,3%	1,7%	1,7%	16%

Berdasarkan Tabel 1, terdapat empat jenis kegagalan selama produksi gula semut yaitu rasa yang asam, kristalisasi yang tidak sempurna, warna gelap dan serbuk yang kasar. Kegagalan tersebut diidentifikasi pada tabel berikut.

Tabel 2. Data, Jumlah dan Persentase Cacat

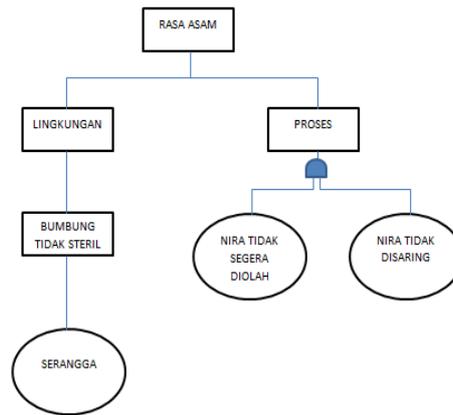
Jenis Cacat	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif	%	% Kumulatif
Rasa yang Asam	27	27	71,1	71,1
Kristalisasi Tidak Sempurna	3	30	7,9	79
Warna Gelap	4	34	10,5	89,5
Serbuk Kasar	4	38	10,5	100

Tabel 2 mengidentifikasi bahwa jenis kegagalan yang paling sering dijumpai pada proses produksi gula semut adalah rasa yang asam sebanyak 71,1%. Persentase ini cukup besar sehingga segera diminimalisir dan dicegah pada proses produksi selanjutnya. Rasa yang asam berpengaruh terhadap kualitas gula semut yang menjadi daya tarik dan pembeda gula semut dengan gula lainnya.

Jenis cacat yang lain yaitu kristalisasi tidak sempurna. Cacat ini memiliki presentase sebesar 7,9%. Sedangkan dua cacat lainnya yaitu warna gelap dan serbuk tidak halus memiliki presentase yang sama yaitu masing-masing 10,5%. Kristalisasi yang tidak sempurna dapat berdampak terhadap bentuk akhir produk gula semut. Warna gelap dan serbuk tidak halus berpengaruh terhadap tampilan dari produk gula semut yang dapat mengurangi kepercayaan atau minat calon pembeli. Keempat cacat tersebut harus dicari penyebabnya agar tidak terus terjadi dan menimbulkan kerugian. Setelah mendapatkan akar permasalahannya, selanjutnya dapat didefinisikan solusi permasalahan tersebut.

Untuk membuat *fault tree*, langkah pertama adalah mengidentifikasi kesalahan atau cacat yang terjadi pada sistem produksi. Kemudian, dianalisis penyebab-penyebab kecacatan tersebut secara terperinci sehingga diperoleh *basic event*. Proses ini akan menjelaskan semua hal yang mempengaruhi sampai terbentuknya cacat pada *top level event*. Berikut *fault tree* untuk setiap cacat yang dianalisis.

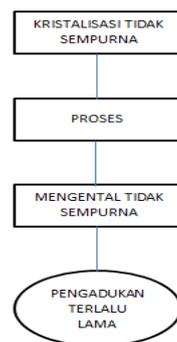
1. Kecacatan Rasa Asam



Gambar 2. Fault Tree Analysis Rasa Asam Gula Semut

Berdasarkan *fault tree* jenis cacat rasa asam, *basic event* yang menyebabkan rasa asam adalah nira tidak segera diolah dan nira tidak disaring. Sedangkan *basic event* dari serangga tidak dianalisis lebih lanjut dalam penelitian ini karena berfokus pada internal industri.

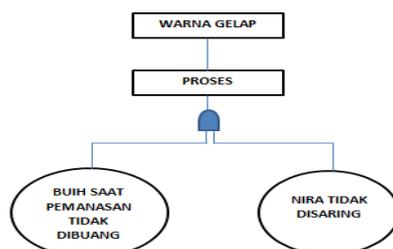
2. Kristalisasi Tidak Sempurna



Gambar 3. Fault Tree Analysis Kristalisasi Tidak Sempurna

Gambar 3 menunjukkan bahwa *basic event* yang menyebabkan cacat kristalisasi tidak sempurna adalah pengadukan terlalu lama yang dilakukan oleh penderes atau pengolah gula semut. Pengadukan yang terlalu lama akan menyebabkan tekstur tidak dapat berbentuk kristal. Hal ini menyebabkan cacat pada sistem produksi gula semut.

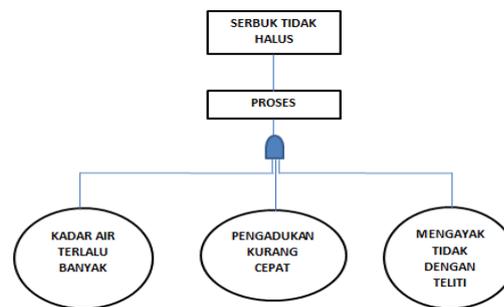
3. Warna Gelap



Gambar 4. Fault Tree Analysis Warna Gelap

Berdasarkan Gambar 4, *basic event* yang menjadi penyebab cacat warna gelap pada produk gula semut adalah buih saat pemanasan tidak dibuang dan nira tidak disaring. Buih yang tidak dibuang saat pemanasan akan menyebabkan gula semut berwarna gelap. Warna gelap dapat mempengaruhi terhadap tampilan gula semut. Sedangkan nira yang tidak disaring akan menyebabkan masih tercampurnya nira dengan kotoran atau partikel-partikel lain yang dapat berpengaruh kepada warna akhir gula semut.

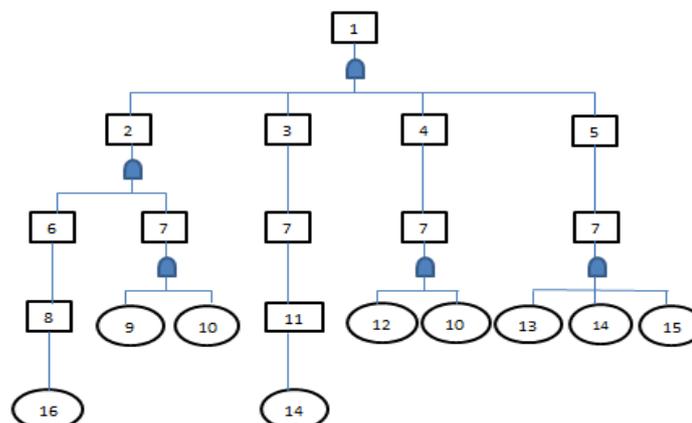
4. Serbuk Kasar



Gambar 5. Fault Tree Analysis Serbuk Kasar

Gambar 5 menunjukkan bahwa cacat serbuk tidak halus disebabkan oleh tiga *basic event*, yaitu kadar air terlalu banyak, pengadukan kurang cepat dan mengayak tidak dengan teliti. Kadar air, waktu pengadukan dan cara mengayak sangat berpengaruh terhadap sukses atau gagalnya proses produksi gula semut menjadi serbuk. Dibutuhkan ketelitian dan ketepatan penderes atau pengolah gula semut dalam hal ini.

Setelah mengetahui *basic event* pada setiap kegagalan, selanjutnya ditentukan minimal *cut-set* yang merupakan penyebab-penyebab terjadinya kegagalan. Perhitungan minimal *cut-set* dari keempat cacat pada sistem produksi gula semut adalah sebagai berikut.



Gambar 6. Fault Tree Analysis Keseluruhan

Langkah penentuan minimal *cut-set* :

$$\begin{aligned} \text{Top level} &= 1 \\ &= 2 + 3 + 4 + 5 \\ &= [6 + 7] + [7] + [7] + [7] \\ &= [8 + (9 + 10)] + [11] + [12 + 10] + [13 + 14 + 15] \\ &= [16 + (9 + 10)] + [14] + [12 + 10] + [13 + 14 + 15] \end{aligned}$$

Berdasarkan minimal *cut-set* tersebut, basic event penyebab cacat pada sistem produksi gula semut adalah sebagai berikut :

1. Kode 9 = nira tidak segera diolah
2. Kode 10 = nira tidak disaring
3. Kode 12 = buih saat pemanasan tidak dibuang
4. Kode 13 = kadar air terlalu banyak
5. Kode 14 = pengadukan kurang cepat
6. Kode 15 = tidak teliti saat mengayak
7. Kode 16 = serangga*

Untuk cacat yang bertanda * tidak dianalisis pada penelitian ini dikarenakan cacat tersebut disebabkan oleh eksternal perusahaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegagalan yang dialami produsen gula semut di Dusun Gumuk Agung yaitu kegagalan rasa gula semut yang asam, kristalisasi tidak sempurna, warna gula semut yang gelap dan serbuk kasar. Produksi gula semut yang asam tidak dapat dijual dan dinikmati oleh konsumen. Rasa asam pada gula semut mempengaruhi kualitas gula semut yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegagalan rasa asam disebabkan oleh nira hasil sadapan tidak segera diolah, nira yang tidak disaring ketika akan diolah dan adanya serangga pada nira hasil sadapan.

Kegagalan kedua yang dialami produsen gula semut yaitu kristalisasi yang tidak sempurna. Kristalisasi pada produksi gula semut adalah proses perubahan bentuk dari nira setelah mendidih sampai mengental. Proses pengadukan dibutuhkan kecepatan dan ketepatan waktu sehingga hasil pengadukan berbentuk kristal yang siap untuk diolah menjadi serbuk. Kristalisasi yang tidak sempurna disebabkan karena pengadukan kurang cepat. Dibutuhkan ketepatan waktu dan kecepatan yang tepat dalam proses pengadukan.

Adapun kegagalan yang ketiga yaitu warna gelap disebabkan karena nira hasil sadapan yang tidak disaring dan buih hasil pemanasan yang tidak dibuang. Warna gelap terlihat pada tampilan gula semut yang tampak lebih kecoklatan daripada gula semut pada umumnya.

Kegagalan keempat yaitu serbuk kasar, terjadi karena kadar air terlalu banyak, pengadukan kurang cepat dan tidak teliti saat mengayak.

Setelah mengetahui akar permasalahan atau penyebab dari tiap *defect* atau cacat yang terjadi pada sistem produksi gula semut, dibuatlah solusi tiap permasalahan tersebut yang diharapkan dapat dijadikan oleh penderes atau pengolah gula semut sebagai panduan agar cacat-cacat yang sering terjadi dapat diminimalisir dengan maksimal. Berikut solusi tiap penyebab cacat yang terjadi berdasarkan tujuh *basic event* yang menjadi minimal *cut-set*.

Tabel 3. Penyebab Kegagalan dan Solusi Perbaikan Pada Proses Produksi Gula Semut

No	Penyebab Kegagalan	Solusi
1.	Nira tidak segera diolah	Penderes atau pengolah harus memperkirakan waktu antara pengambilan nira dan pengolahan. Manajemen waktu yang baik dibutuhkan pada tahap ini agar nira segera diolah dan tidak menimbulkan cacat. Selain itu, membuat sebuah evaluasi dan penyuluhan, menempel SOP atau prosedur produksi gula semut yang sesuai juga harus dilakukan.
2.	Nira tidak disaring	Membuat sebuah evaluasi dan penyuluhan, menempel SOP atau prosedur produksi gula semut.
3.	Buih saat pemanasan tidak dibuang	Membuat sebuah evaluasi dan penyuluhan, menempel SOP atau prosedur produksi gula semut.
4.	Kadar air terlalu banyak	Diperlukan standarisasi atau ukuran standar kadar air yang seharusnya sebelum dilakukan proses lebih lanjut.
5.	Pengadukan kurang cepat	Diperlukan ukuran standar kecepatan pengadukan yang seharusnya dilakukan
6.	Mengayak tidak dengan teliti	Ayakan dapat dilakukan sampai dua kali agar diperoleh hasil ayakan yang diharapkan

Simpulan dan Saran

Teknik fault tree analysis Munculnya kegagalan atau *defect* proses produksi gula semut adalah hal yang dapat merugikan penderes, sehingga harus dapat diminimalisir dan dicegah pada proses produksi selanjutnya. Selain itu, agar diperoleh kualitas gula semut yang terbaik. Terdapat empat kegagalan selama proses produksi gula semut yaitu rasa yang asam, kristalisasi yang tidak sempurna, warna yang gelap dan serbuk kasar. Kegagalan yang paling sering dialami yaitu rasa asam yang memiliki persentase sebesar 71,1%. Berdasarkan *fault tree analysis*, diperoleh enam minimal *cut-set* yaitu nira yang tidak segera diolah, nira tidak disaring, buih saat pemanasan tidak dibuang, kadar air terlalu banyak, pengadukan kurang cepat, dan tidak teliti saat mengayak.

Solusi yang diperoleh adalah menutup bumbung dengan rapat selain pada aliran nira dan melakukan penyuluhan atau evaluasi berkala serta membuat SOP atau prosedur produksi gula

semut yang sesuai. Selain itu, dibutuhkan adanya standarisasi ukuran kadar air, kecepatan pengadukan dan penambahan proses ayakan.

Referensi

- Fitria, M., dan Faisal. (2009). "Penggunaan Aljabar Boolean dalam Menganalisis Kegagalan pada Fault Tree Analysis". *Jurnal Matematika Murni dan Terapan*, vol 3, no 2, 27 - 38.
- Meiqiong XIA, Xiangyang LI, Fuliang J, Shuyun W. (2012). "2012 International symposium on safety science and technology cause analysis and countermeasures of locomotive runaway accident based on fault tree analysis method". *Procedia Engineering*. 45 : 38-42.
- Ningtyas. (2014). Analisis Komparatif Usaha Pembuatan Gula Merah Dan Gula Semut Di Kabupaten Kulon Progo, *Jurnal Penelitian Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta*.
- Noviyanti, L., Sumarno, H., dan Sianturi, Dian, P. (2014). "Analisis Fault Tree dan Aplikasinya pada Masalah Kecelakaan Lalu Lintas di Provinsi Bengkulu". *JMA*, vol 13, no 1, 1-10.
- Porter K, Ramer K. (2012). "Estimating earth quake-induced failure probability and downtime of critical facilities". *Business Continuity & Statistics for Engineers and Scientist*. 3th ed. Amsterdam (NL) : Elviesier Academic Pr.
- Veldhuis JAE, Clemens FHLR, Gelder PHAJMV. (2011). "Quantitative fault tree analysis for urban water infrastructure flooding". *Structure and Infrastructure Engineering*, vol 7, no 11, 809-821.