

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan hasil kajian pustaka yang terdiri dari kajian Empiris dan Teoritis. Kajian Empiris adalah kajian yang bersumber dari paper, artikel, dan sejenisnya tentang hasil penelitian terdahulu yang dilakukan. Kajian Teoritis adalah berisi kajian dasar keilmuan dari buku atau artikel lainnya yang menjadi landasan teori terkait ilmu-ilmu yang mendukung didalam penelitian. Selain itu dijelaskan juga *state of the art* penelitian dan perbedaannya dengan penelitian-penelitian terdahulu.

2.1. Kajian Empiris

2.1.1. Pengendalian pH Otomatis

Beberapa penelitian terdahulu tentang pengendalian otomatis suatu proses baik pengendalian pH, suhu, kelembapan ataupun parameter lainnya sudah banyak dilakukan. Berbagai macam metode digunakan dan berbagai pendekatan serta perhitungan dilakukan. Seperti pada sistem pencampur bahan minuman bersoda dimana dibuat pengendalian otomatis dengan dasar PLC dan parameter terukur nilai pH (Kusumawardani & Sumiharto, 2015). Pada sistem tersebut nilai pH, ketinggian cairan, dan motor washer sebagai pengendali cairan. Hasilnya dari pengujian mekanik, pH pada sistem terkendali dengan keakuratan 98,45%. Selain itu pada penelitian ini ditambahkan HMI untuk mempermudah operator dalam pengawasan dan pengendaliannya. Namun belum ada penerapan standar industri pada penelitian agar didapat pencampuran yang tepat. Sedangkan pengendalian otomatis dengan parameter kendali suhu telah dilakukan pada penelitian proses fermentasi yoghurt (Stanto, 2014). Pada proses tersebut dimasukan 2 parameter yaitu sensor suhu, dan sensor pH. Sedangkan sistem yang digunakan hampir sama yaitu *Programable Logic Controller* (PLC). Didalam penelitian ini diuji setiap parameter dan sistem pengendaliannya sehingga hasilnya didapatkan proses perancangan

kontroler Proporsional Integral menggunakan metode Ziegler-Nichols. Pengujian akhir pada sensor suhu PT100 menunjukkan kerja yang baik dengan prosentase kesalahan 0,433% dan *Glass Electrode* setelah dikuatkan sebesar 2,0998%. Namun belum adanya rancangan dalam peletakan alat yang tepat agar pengukuran dan sistem dapat bekerja dengan akurat. Dari dua penelitian ini diketahui bahwa error dari kerja PLC sudah dibawah 5%.

Selain dalam sistem industri, dalam skala laboratorium pun pengendalian atau monitoring dengan cara otomatis diperlukan. Terbukti pada penelitian untuk *Live Cell Chamber* dimana diperlukan tabung uji yang dapat dimonitoring secara langsung untuk melihat objek lab (Wardhana et al., 2013). Permasalahan tersebut diselesaikan dengan merancang alat untuk monitoring pH dan Kelembaban dalam *Live Chamber Cell*. Setelah dilakukan eksperimen uji komponen dan sistem dihasilkan pengukuran kelembaban dan derajat keasaman (pH) dalam *Live Cell Chamber* dapat ditampilkan dengan baik pada display LCD dan memiliki tingkat kesalahan 1,234% pada range 4-8 derajat untuk pH meter dan 0,306% pada range 81-95% RH untuk sensor kelembaban ketika masing-masing dikalibrasi dengan alat ukur lain. Pada penelitian tersebut sensor pH digunakan untuk memonitoring keadaan tabung uji. Sehingga dari tiga penelitian terbukti *Microcontroller* dapat digunakan untuk membangun sistem pengendalian.

Kemudian pengendalian otomatis juga diterapkan di sektor pertanian seperti penelitian tentang sistem pemupukan tanaman yang berdasarkan pada pH dari media tanam hidroponik (Tua, 2014). Penelitian ini merealisasikan sebuah perangkat dengan menggunakan mikrokontroler ATmega16 sebagai pengendali utama yang dapat melakukan pengendalian pH pada sistem pemupukan tanaman hidroponik dengan frekuensi waktu yang tetap. *Solenoid Valve* digunakan untuk mengatur masukan larutan asam dan basa pada tangki penampungan larutan nutrisi. Dari hasil uji coba, perangkat pengendali dapat menjalankan tugasnya dengan melakukan pemupukan secara teratur dan menjaga pH larutan nutrisi pada batas yang diinginkan.

Sedangkan untuk pengendalian pada sistem yang kontinu cairannya, pengendalian pH diterapkan dalam industri kimia dan pengolahan air limbah. Seperti pada penelitian tentang penerapan pengendalian pH dalam *turbular flow reactor* di pengolahan air limbah (Vural et al., 2015). Didalam penelitian tersebut dirancang alat pengendali pH otomatis agar nilai pH cairan bernilai 7. Pengendalian dilakukan sebelum proses utama terjadi.

Digunakan model *fuzzy* untuk mengatur takaran yang dibutuhkan untuk mencapai target pH. Hasil eksperimen yang dilakukan menunjukkan rancangan yang dibuat tidak lebih bagus dari perancangan pH yang saat ini ada di industri. Sehingga dari sini ditunjukkan bahwa rancangan alat pH prinsip yang ada di industri masih layak digunakan.

Perancangan alat pengendali pH bermacam-macam tergantung dari kondisi objek yang ingin dikendalikan nilai pH nya. Seperti pada penelitian tentang pengendalian pH pada WFGD (*Wet Flue Gas Desulfurization*). Dalam penelitiannya strategi pengendalian diterapkan dengan kombinasi antara *neural network predictive controller* (dengan mengendalikan aliran limestone) dan *feedback controller* (dengan mengendalikan aliran output untuk mengontrol keluaran konsentrasi dari SO₂). Hasilnya setelah pada eksperimen ditambahkan dengan *feedback controller* proses pengendalian pH lebih terkendali dibandingkan hanya mengandalkan satu strategi (Wu, et.al., 2011). Tetapi analisis alat yang sesuai dengan keinginan pengguna belum dilakukan dalam penelitian ini.

Dari penelitian terdahulu tentang pengendalian otomatis baik pH, suhu, atau parameter lainnya belum ada yang menerapkan di industri gula khususnya pemurnian. Kemudian belum ada yang membahas dampak penerapan alat pengendalian pada kesesuaian antara rancangan alat dengan kebutuhan pengguna, dan menerapkan alat pada prinsip *mobile* untuk proses produksinya. Sehingga pada penelitian ini perbaharuan yang dilakukan adalah dengan melakukan perancangan alat pengendali pH Nira Tebu di proses produksi gula. Kemudian dibandingkan sebelum dan sesudah perancangan, lalu melibatkan pengguna kedalam proses perancangan dengan menggunakan metode TRIZ.

2.1.2. Metode TRIZ

Tahap perancangan alat pengendalian proses produksi diperlukan untuk mendukung reengineering proses bisnis. Banyak metode yang dapat dilakukan untuk perancangan alat tersebut. Seperti QFD (Quality Function Deployment) dapat digunakan agar yang dibutuhkan oleh konsumen dapat terpenuhi dan sesuai dengan keinginannya (Pezzotta et al., 2016). Contohnya dalam studi kasus penerapan SEEM (Service Engineering Methodology) pada perusahaan ABB yang dilakukan oleh (Pezzotta et al., 2016) QFD digunakan pada tahap pendefinisian produk sesuai dengan kebutuhan konsumen sehingga dari QFD didapatkan faktor – faktor penting yang diinginkan konsumen lalu

sditerjemahkan kedalam sumber daya yang penting menunjang keinginan tersebut. Selain pada proses identifikasi, QFD digunakan pada tahap implementasi pada kasus tersebut. Maka QFD dapat digunakan pada tahap perancangan alat dalam penelitian ini untuk mendapatkan keinginan konsumen yang akurat dan menterjemahkannya kedalam kebutuhan teknis.

Selain dengan pendekatan metode QFD dalam merancang suatu alat, pendekatan dengan metode TRIZ juga dapat dilakukan. Theory of Inventive Problem Solving adalah metode pemecahan masalah berdasarkan data dan logika, mempercepat proses perancangan dengan tanpa menghilangkan kualitas dari perancangan itu sendiri. Hal tersebut dikarenakan dengan metode ini trade off yang terdapat pada saat perancangan dapat diselesaikan dengan solusi dari TRIZ (Puspitarini et al., 2016). Dalam penelitian perancangan berkelanjutan tangga penghasil energi di sebuah kampus TRIZ digunakan dalam penentuan spesifikasi produk untuk mengatasi solusi yang mengalami trade off dengan solusi lain (Puspitarini et al., 2016). Contohnya fitur tidak licin pada tangga dalam matrik TRIZ merupakan trade-off antara “stability of object’s composition (13)” feature dan “object generated harmful factors (31)” features. Saat rancangan dibuat agar tidak licin dapat mengakibatkan terciptanya pergerakan pemakai yang tidak stabil karena terlalu kasar. Solusinya “inert atmosphere (39)”. Sehingga alternative material yang sesuai dengan prinsip solusi itu adalah besi atau keramik.

Karena matrik improve and worsening feature dari metode TRIZ yang bersifat umum, penerapan TRIZ tidak terbatas pada perancangan barang. Penerapan TRIZ pada human factor dapat dilakukan dengan menterjemahkan matrik kontradiksi TRIZ sesuai dengan parameter dalam masalah human factor (Coelho, 2009). Kemudian penelitian lainnya yang dilakukan terhadap desain backpack untuk pendaki wanita, TRIZ digunakan sebagai metode penyelesaian dari hasil QFD yaitu backpack yang memiliki daya tampung maksimal dengan berat yang ringan. Masalah kontradiktif tersebut diselesaikan dengan metode TRIZ sehingga diperoleh hasil akhir yaitu bentuk backpack yang silinder (Dian M et al., 2011). Selain dengan QFD, TRIZ juga dapat dikombinasikan dengan metode dan alat pengembangan rancangan produk pada tahap konsep desain. Seperti pada penelitian konsep desain ERE (Elderly Rehabilitation Equipment) TRIZ digunakan untuk menghasilkan ide yang inovatif mendukung Axiomatic Design (AD) yang memiliki kapabilitas menganalisis masalah secara rinci. Dan hasilnya menyatakan hybrid-compact

design matrix yang dilengkapi dengan TRIZ dapat membantu desainer menghasilkan lebih banyak ide yang kreatif dalam perancangan produk baru (Ko, 2017). Untuk industri makanan metode TRIZ digunakan pada sebuah penelitian tentang perancangan kemasan paket Pizza yang dapat menghindari kelembaban dan dingin. Kontradiksi yang terjadi yaitu untuk menjaga pizza tetap hangat maka pizza harus ditutup rapat agar tidak ada sirkulasi udara dari luar, namun dilain pihak hal ini dapat membuat penguapan air didalam pizza dan mengalami kondensasi sehingga menyebabkan basah dan membuat pizza menjadi lembab. Dengan menggunakan matrik 39*39 TRIZ kontradiksi ini diselesaikan dan dipilih inventive principles 2, 17, 22, 14, dan 5 dan diaplikasikan kedalam kotak pizza yang dirancang (Ekmekci & Koksall, 2015).

Peran teknologi untuk menciptakan proses bisnis khususnya manufaktur perlu diperhatikan. Penerapan teknologi produksi yang tepat dapat memaksimalkan kinerja mesin yang digunakan. Contohnya penerapan proses yang terotomasi dengan penggunaan teknologi informasi dalam skenario dapat menghasilkan pengurangan 50% waktu untuk menentukan penawaran standar dan pengurangan 25% waktu pengembangan penawaran kompleks dalam pelayanan perusahaan (Pezzotta et al., 2016).

2.2. Kajian Teoritis

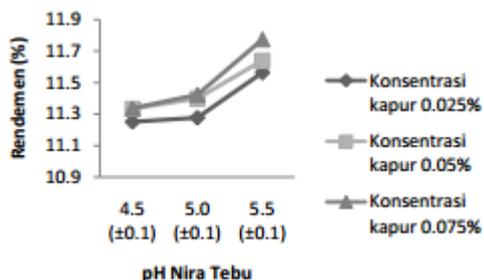
2.2.1. pH dalam Produksi Gula

pH merupakan singkatan potensial hidrogen. Nilai pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh larutan. Didefinisikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. Nilai pH memiliki interval dari 0-14 dengan nilai 7 sebagai pH Netral karena memiliki jumlah molekul asam dan basa yang sama, kurang dari 7 asam artinya memiliki jumlah molekul asam lebih banyak, dan lebih dari 7 basa.

2.2.1.1. pH pada Nira Tebu

pH nira tebu dan konsentrasi penambahan kapur perbengaruh terhadap kualitas fisik, kimia dan organoleptik gula. Dengan menggunakan pH yang tepat maka hasil dari kristalisasi gula yang di produksi akan memiliki kualitas yang baik. Menurut penelitian Erwinda dan Susanto (2014) hasil analisis menunjukkan rerata rendemen gula merah yang dihasilkan berkisar antara 11.25-11.77%. Grafik rerata rendemen gula merah pada

berbagai kombinasi perlakuan pH nira tebu dan konsentrasi penambahan kapur dapat diakses pada Gambar.



Gambar 2. 1 Hubungan Perlakuan pH Nira Tebu dan Konsentrasi Penambahan Kapur terhadap Rendemen Gula Merah (Erwinda & Susanto, 2014)

Berdasarkan Gambar dapat diketahui bahwa rerata rendemen gula merah mengalami peningkatan akibat perlakuan pH nira tebu dan konsentrasi penambahan kapur. Perlakuan nira tebu pH 4.5 (± 0.1) dan penambahan konsentrasi kapur sebesar 0.025% memberikan rerata rendemen terendah yaitu 11.25%. Sedangkan perlakuan nira tebu pH 5.5 (± 0.1) dan penambahan konsentrasi kapur sebesar 0.075% memberikan rendemen tertinggi yaitu 11.77%.

Rendemen gula merah adalah semua total gula dan padatan yang ada di dalam gula merah. Sehingga tidak hanya kadar sukrosa yang mempengaruhi rendemen gula merah tetapi juga kadar gula reduksi seperti fruktosa dan glukosa yang dihitung sebagai rendemen gula merah. Penambahan konsentrasi kapur yang tidak begitu besar yaitu 0.025%, 0.05%, 0.075% pada nira tebu juga tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap rendemen gula merah, karena sisa endapan kalsium yang diperoleh dari penjernihan nira pada waktu pemasakan pertama memiliki sisa endapan yang hampir relatif sama (Hendrawan, 2010).

2.2.1.2. Proses Defekasi

Teknik defekasi dilakukan untuk pembuatan kristal gula pasir yang kasar dalam tingkatan gula HS (Hoofd Suiker). Teknik ini nira mentah diberi air kapur dalam perbandingan 1000 L nira mentah dicampur dengan 3-6 L air susu kapur. Keadaan ini menyebabkan reaksi alkalis mendominir sifat nira mentah tersebut. Sifat alkalis nira mentah menjamin amannya kandungan sukrosa yang terdapat didalamnya, oleh karena asam-asam yang ada

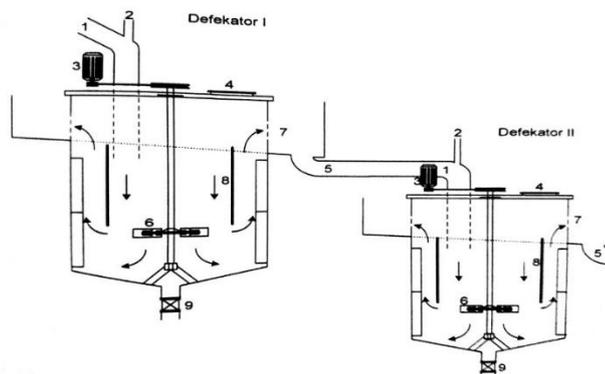
telah dinetralsir. Proses defekasi pada pemurnian nira menggunakan susu kapur (*milk of lime*) sebagai bahan pereaksi. Susu kapur akan bereaksi dengan fosfat yang terdapat dalam nira untuk membentuk inti endapan (koagulan). Sebelum direaksikan dengan susu kapur nira terlebih dahulu dipanaskan di *juice heater* sampai suhu 70 °C. Mekanisme reaksi nya sebagai berikut :



Reaksi susu kapur membentuk endapan dengan kotoran-kotoran zat anorganik dan organik dalam nira, pembentukan substansi yang tidak larut, pembentukan substansi yang masih tetap dalam larutan, dan koagulasi dispersi kasar dan suspensi koloid. Senyawa yang terbentuk dari pencampuran yaitu garam kalsium yang mengendap saat pemanasan, bereaksi asam fosfat membentuk kalsium fosfat, bereaksi dengan nitrogen menjadi koloid, dan dengan pektin membentuk larut dan tidak larut. Parameter viskositas kapur 7° Be atau kurang lebih 75 gram CaO/L susu kapur. Dalam proses ini dilakukan dengan dua kali pencampuran. Defekator II digunakan agar pH dinaikan lagi sehingga terjadi ikatan endapan yang lebih besar. Penambahan susu kapur yang bertahap menjadikan pencampuran lebih homogen dan mengurangi inversi sukrosa.



Gambar 2. 2 Mesin Defekasi PT.Madubaru



Gambar 2. 3 Defekator 1 dan 2 Pabrik

Tujuan adanya pengendalian pH dalam proses Defekasi adalah apabila pH terlalu tinggi maka akan menyebabkan pecahnya monosakarida yang menyebabkan kualitas nira menurun, menjaga agar sakarosa tidak rusak oleh adanya asam, dan menghambat inversi sukrosa. Asam fosfat (H_3PO_4) merupakan bahan pembantu dalam pemurnian nira dengan membentuk endapan kalsium fosfat atau $Ca(PO_4)_2$ yang bersifat menggumpalkan kotoran sehingga mempermudah pemisahan kotoran dari nira jernih. Asam fosfat ditambahkan pada bak penampung sampai kadar 300 ppm

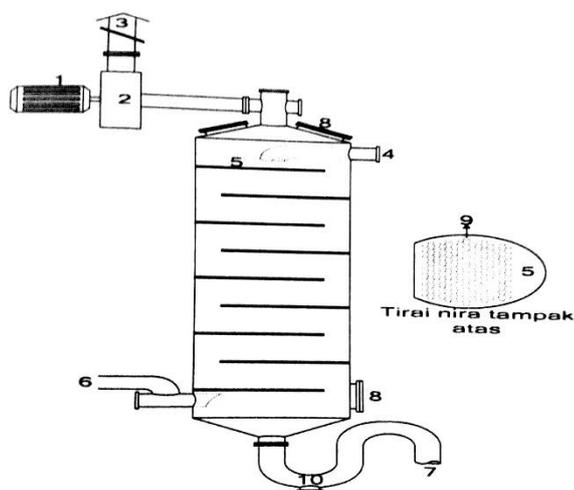
2.2.1.3. Proses Sulfitasi

Teknik sulfitasi ini digunakan untuk memperoleh mutu gula pasir yang tinggi yaitu gula yang tergolong dalam tingkat SHS (Superieur Hoofd Suiker), dimana nira mentah diberi air kapur dalam jumlah yang lebih banyak yaitu 6-9 L air kapur untuk 1000 L nira mentah. Campuran ini jika dibiarkan dalam waktu yang cukup lama akan menjadi berwarna hitam dengan terbentuknya reaksi air kapur dan gula-gula reduksi. Cara mengatasi hal-hal yang tidak diinginkan tersebut maka kedalam campuran tadi dialiri gas SO_2 yang akan menetralkan kelebihan air kapur sampai pH netral. Teknik sulfitasi ini menghasilkan gula pasir yang bersih dan putih.

Gas SO_2 dibuat dari belerang lempeng atau butiran yang dibakar di tobong belerang atau rotary burner. Gas SO_2 akan bereaksi dengan ion Ca_{2+} membentuk endapan $CaSO_3$ sehingga endapan menjadi incompressible (tidak mudah pecah). Fungsi gas SO_2 adalah untuk mengikat unsur-unsur yang belum bereaksi di defekator, mengurangi viskositas larutan, mereduksi ion-ion Ferri menjadi Ferro sehingga warnanya menjadi lebih pucat.

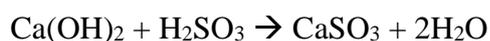


Gambar 2. 4 Tangki Sulfitasi



Gambar 2. 5 Sulfitasi

Tujuan pengendalian pH pada proses sulfitasi adalah untuk menurunkan pH ke 7,2–7,4 yang menyebabkan menjernihkan nira dan mengikat kotoran-kotoran menjadi endapan. Kadar SO₂ yang dipakai sekitar 10-12 %. Selain itu fungsi dari sulfitasi adalah agar pembentukan gula reduksi dalam keadaan alkalis dapat dicegah. Reaksi kimia yang terjadi dalam sulfitasi adalah sebagai berikut:



Terjadinya endapan ini membawa kotoran lainnya ikut mengendap. Hasil pemurnian menghasilkan gula yang lebih putih.

Teknik defekasi dilakukan untuk pembuatan kristal gula pasir yang kasar dalam tingkatan gula HS (Hoofd Suiker). Keadaan ini menyebabkan reaksi alkalis mendominasi sifat nira mentah tersebut. Sifat alkalis nira mentah menjamin amannya kandungan sukrosa yang terdapat didalamnya, oleh karena asam-asam yang ada telah dinetralisir.

Dalam proses ini dilakukan dengan dua kali pencampuran. Defekator II digunakan agar pH dinaikan lagi sehingga terjadi ikatan endapan yang lebih besar. Penambahan susu kapur yang bertahap menjadikan pencampuran lebih homogen dan mengurangi inversi sukrosa. Selain proses defekasi, pengendalian pH terjadi di proses sulfitasi. Tujuan pengendalian pH pada proses sulfitasi adalah untuk menurunkan pH ke 7,2–7,4 yang menyebabkan menjernihkan nira dan mengikat kotoran-kotoran menjadi endapan. Kadar SO₂ yang dipakai sekitar 10-12 %. Selain itu fungsi dari sulfitasi adalah agar pembentukan gula reduksi dalam keadaan alkalis dapat dicegah. Hasil pemurnian menghasilkan gula yang lebih putih.

2.2.2. Metode TRIZ (*Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch*)

TRIZ (*Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch*) ditemukan oleh Genrich Saulovich Atshuller dari Uni Soviet, diterjemahkan kedalam bahasa Inggris menjadi *Theory of Inventive Problem Solving*. TRIZ adalah metode pemecahan masalah berdasarkan logika dan data, bukan intuisi yang mempercepat kemampuan untuk menyelesaikan masalah secara kreatif (Barry et al., 2006). TRIZ memberikan cara inovasi yang sistematis, pemecahan masalah dengan cara yang kreatif yaitu dengan mencari solusi dari setiap trade off di setiap masalah, meyakinkan bahwa kemungkinan solusi yang baru dapat ditemukan dan terus menghasilkan inovasi-inovasi dan menciptakan solusi dari suatu masalah (Gadd, 2011).

2.2.2.1. 40 Invention Principles

Metode TRIZ menggunakan prinsip inventasi yang berisi 40 prinsip yang bertujuan memberikan solusi-solusi untuk mengatasi kontradiksi yang terjadi antar karakteristik.

Berikut ini adalah tabel 40 *Invention Principles*

Tabel 2. 1 40 *Invention Principles*

No	40 <i>Invention Principles</i>	No	40 <i>Invention Principles</i>
1	<i>Segmentation</i>	21	<i>Skipping / Rushing Through</i>
2	<i>Taking out</i>	22	<i>“Blessing in disguise” or “Turn Lemons into Lemonade”</i>
3	<i>Local quality</i>	23	<i>Feedback</i>
4	<i>Asymmetry</i>	24	<i>Intermediary</i>
5	<i>Merging or Combining</i>	25	<i>Self service</i>
6	<i>Universality</i>	26	<i>Copying</i>

No	40 Invention Principles	No	40 Invention Principles
7	"Nested Doll"	27	Cheap short-living objects
8	Anti weight	28	Mechanics substitution
9	Preliminary anti action	29	Pneumatic and Hidraulics(Intangability)
10	Preliminary action	30	Flexible shells and thin films
11	Beforehand cushioning	31	Porous materials
12	Equipotentiality	32	Colour changes
13	The other way round		Homogeneity
14	Spheroidality	34	Discarding and recovering
15	Dynamics	35	Parameter changes
16	Partial or excessive action	36	Phase transition
17	Another dimensions	37	Thermal expansion (Strategic expansions)
18	Mechanical vibration	38	Strong oxidants (Boosted interaction)
19	Periodic action	39	Inert Athmosphere
20	Continuity of useful action	40	Composite material

Dalam 40 prinsip tersebut terjadi persimpangan-persimpangan seperti yang dijelaskan yaitu (Zhang et al., 2003):

1. *Segmentation* (Segmentasi)

- a. Membagi suatu objek atau sistem menjadi bagian-bagian tersendiri.
- b. Membuat suatu objek atau sistem mudah untuk membongkar.
- c. Meningkatkan derajat fragmentasi atau segmentasi.

2. *Taking Out* (Ekstraksi)

Memisahkan bagian yang mengganggu dari suatu objek/sistem, hanya diperlukan bagian dari suatu objek/sistem.

3. *Local Quality* (Optimasi Lokal)

- a. Mengubah struktur objek atau sistem dari seragam ke non seragam, perubahan lingkungan eksternal atau pengaruh eksternal dari seragam ke non seragam.
- b. Buatlah masing-masing bagian dari suatu objek atau fungsi sistem dalam kondisi yang paling cocok untuk operasi.

- c. Buatlah masing-masing bagian dari suatu objek atau sistem yang berbeda dan memenuhi fungsi yang berguna.

4. *Asymetry (Ketidaksimetrisan)*

- a. Perubahan bentuk suatu objek atau sistem dari simetris dengan asimetris.
- b. Jika suatu benda atau sistem yang asimetris, tingkatkan derajat asimetris tersebut.

5. *Merging or Combining (Penggabungan)*

- a. Menggabungkan objek atau sistem yang identik/sama dan menggabungkan bagian yang identik untuk melakukan operasi paralel.
- b. Membuat operasi bersebelahan atau sejajar dalam waktu yang bersamaan.

6. *Universality (Multiguna / Multifungsi)*

- a. Membuat sebagian objek atau sistem dengan melakukan fungsi ganda untuk menghilangkan kebutuhan pada bagian yang lainnya.
- b. Menggunakan fitur standar.

7. *Nested Doll (Persarangan)*

- a. Menempatkan satu objek atau sistem pada gilirannya.
- b. Membuat satu bagian melewati bagian yang lain.

8. *Anti Weight (Penyeimbangan)*

- a. Untuk menyeimbangkan berat/beban dari suatu objek atau sistem dengan objek atau sistem yang lain.
- b. Untuk menyeimbangkan berat/beban dari suatu objek atau sistem agar dapat berinteraksi dengan lingkungan sekitar (misalnya menggunakan aerodinamis, hidrodinamik, daya apung dan kekuatan lainnya).

9. *Preliminary Anti Action (Pencegahan)*

- a. Pada saat akan melakukan suatu tindakan diperhitungkan efek baik dan efek buruknya.
- b. Membuat *prototype* sebuah objek atau sistem agar dapat menghindari kejadian yang tidak diinginkan kemudian hari.

10. *Preliminary Action (Persiapan)*

- a. Melakukan tindakan persiapan untuk sebuah objek atau sistem baik lengkap maupun sebagian dari sistem atau objek tersebut.
- b. Mengatur objek atau sistem sehingga dapat lepas dari zona nyaman tanpa memakan waktu yang cukup lama.

11. *Beforehand Cushioning (Pengamanan)*

Menyiapkan tindakan pengamanan dalam melakukan uji coba dari objek atau sistem.

12. *Equipotentiality (Penyelarasan)*

Pembatasan perubahan kedudukan dari objek atau sistem (misalnya melakukan uji coba dengan menaikkan atau menurunkan objek untuk menghilangkan bagianbagian yang kurang penting)

13. *The Other Way Round (Pembalikan)*

- a. Membalikan tindakan yang digunakan untuk memecahkan masalah.
- b. Membuat objek bergerak sebagian atau lingkungan sekitar yang tetap dan membiarkan beberapa bagian tersebut tetap bergerak.
- c. Gerakan objek dengan proses terbalik.

14. *Spheroidality (Pelengkungan)*

- a. Menggunakan bagian bujursangkar atau permukaan yang melengkung untuk menggerakkan suatu objek dari yang sebelumnya berbentuk kubus atau simetris ke bentuk yang lebih melengkung seperti bola.

- b. Menggunakan contoh objek yang tidak beraturan (rol, bola, spiral, kubus)
- c. Menggerakkan dari yang tadinya lurus menjadi melingkar menggunakan kekuatan sentrifugal.

15. *Dynamics* (Pendinamisan / Adaptasi)

- a. Mendesain sifat-sifat sebuah objek, lingkungan sekitar atau prosesnya untuk mencari kondisi yang lebih optimal.
- b. Membagi suatu objek atau sistem menjadi bagian-bagian yang mampu melakukan kerjasama terhadap satu sama lain.
- c. Jika suatu objek atau proses kaku atau tidak fleksibel maka objek atau proses tersebut dibuat untuk bergerak agar dapat beradaptasi dengan lingkungan sekitar.

16. *Partial or Excessive Action* (Pelebihan / Pengurangan)

Apabila nilai sempurna sulit untuk dicapai dengan menggunakan metode yang ada maka dilakukan pelebihan atau pengurangan dengan menggunakan metode yang sama, kemungkinan mendapat nilai sempurna akan lebih mudah.

17. *Another Dimensions* (Penambahan Dimensi)

- a. Memindahkan objek atau sistem dalam bentuk dua dimensi atau tiga dimensi.
- b. Menggunakan *multy-story* dalam menyusun objek atau sistem bukan menggunakan *single-story*.
- c. Re-orientasi dari objek atau sistem. Menggunakan bagian lain dari sebuah objek atau sistem.

18. *Mechanical Vibration* (Penggetaran)

- a. Penyebab suatu objek atau sistem untuk berosilasi atau bergetar.
- b. Meningkatkan frekuensi bahkan sampai ke ultrasonik.
- c. Gunakan *vibrator piezoelektrik* yang bukan mekanik.

- d. Gunakan kombinasi ultrasonik dan osilasi medan elektromagnetik.

19. *Periodic Action (Periodisasi)*

- a. Melakukan jeda (periodik).
- b. Apabila sudah ada jeda, maka mengatur besar/kecil dari masa jeda tersebut.
- c. Gunakan jeda tersebut untuk melakukan tindakan yang berbeda.

20. *Continuity of Useful Action (Pemberlanjutan Manfaat)*

- a. Membiarkan sebuah objek atau sistem bekerja terus menerus dengan menggunakan beban penuh agar mengetahui kelebihan dan kekurangannya.
- b. Jangan melakukan tindakan pencegahan dalam pelaksanaannya.

21. *Skipping / Rushing Through (Percepatan Perlakuan)*

Melakukan tahap-tahap tertentu (misalnya tes kerusakan, tes berbahaya atau tidak) dengan percepatan.

22. *Blessing in Disguise / Turn Lemons into Lemonade (Pemanfaatan Kerugian)*

- a. Gunakan faktor bahaya khususnya efek bahaya terhadap lingkungan sekitar untuk mencapai efek yang positif.
- b. Menghilangkan tindakan utama yang berbahaya dengan mengalihkan tindakan tersebut untuk yang lainnya dalam memecahkan masalah.
- c. Menghilangkan faktor bahaya sedemikian rupa sehingga tidak berbahaya lagi.

23. *Feedback (Timbal Balik)*

- a. Melakukan koreksi (perujukan kembali, pengecekan silang) untuk melakukan perbaikan proses atau mengambil sebuah tindakan.

- b. Jika sudah menggunakan *feedback* maka melakukan perubahan besar atau kecil.

24. *Intermediary* (Perantara)

- a. Gunakan operator atau proses sebagai perantara.
- b. Menggabungkan satu objek sementara dengan yang lain (yang dapat dengan mudah dihilangkan).

25. *Self Service* (Pelayanan Sendiri)

- a. Buatlah sebuah objek atau sistem melakukan pelayanan sendiri dengan melakukan fungsi tambahan yaitu membantu.
- b. Gunakan sumber daya lain.

26. *Copying* (Penyalinan)

- a. Menggunakan objek atau sistem yang sudah tersedia supaya lebih sederhana dan murah.
- b. Gantikan objek atau sistem dengan proses salinan optik.
- c. Jika salinan optik sudah digunakan, gunakan inframerah atau ultraviolet eksemplar.
- d. Salin konsep layanan kreatif di industri yang berbeda.

27. *Cheap Short-Living Objects* (Murah / Sekali Pakai)

Menggantikan objek atau sistem dengan yang lebih murah dengan mengorbankan kualitas tertentu.

28. *Mechanic Substitution* (Penggantian Sistem / Teknik)

- a. Mengganti hal yang mekanis dengan perasaan (penglihatan, pendengaran, perasa atau penciuman) yang lebih berarti.
- b. Gunakan listrik, magnet atau medan elektromagnetik untuk menjalankan objek atau sistem tersebut.

- c. Perubahan sistem yang tadinya statis menjadi bergerak atau yang tadinya tidak terstruktur menjadi lebih terstruktur.
- d. Gunakan bersama dengan bidang-bidang yang lain.

29. *Pneumatic and Hydraulics / Incompressibility* (Sistem Pneumatik dan Hidrolik)
Menggunakan bagian yang lain yang tidak ada didalam objek atau sistem.

30. *Flexible Shells and Thin Films* (Pemakaian Membran / Lapisan)

- a. Menggunakan *flexible shells and thin films* untuk struktur 3D.
- b. Menggunakan *flexible shells and thin films* untuk mengisolasi objek atau sistem dari lingkungan sekitar.

31. *Porous Materials* (Pemakaian Material Berpori / Rongga)

- a. Buat objek atau sistem menggunakan material berpori atau berongga sebagai pelapis.
- b. Jika suatu objek atau sistem sudah keropos maka gunakan pori-pori tersebut untuk menggantikan fungsi bagian yang keropos tersebut.

32. *Colour Changes* (Pengubahan Warna)

- a. Mengubah warna suatu objek atau sistem disesuaikan dengan lingkungan sekitar.
- b. Mengubah transparansi suatu objek atau sistem.

33. *Homogeneity* (Homogenitas)

Membuat objek atau sistem dapat berinteraksi atau disatukan dengan lingkungan sekitarnya dengan menggunakan bahan yang sama.

34. *Discarding and Recovering* (Menghilangkan dan Memperbaiki)

- a. Membuat atau menghilangkan bagian-bagian dari objek atau sistem atau memodifikasi secara langsung selama operasi.
- b. Mengembalikan bagian-bagian yang dihilangkan selama operasi berjalan.

35. *Parameter Changes (Transformasi)*

- a. Mengubah parameter sebuah objek atau sistem (misalnya untuk gas, cair atau padat).
- b. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.
- c. Mengubah tingkat fleksibilitas.
- d. Mengubah atmosfer untuk pengaturan yang lebih optimal.

36. *Phase Transition (Masa Transisi)*

Menggunakan fenomena yang terjadi selama masa transisi (misalnya perubahan volume, proses menghilang atau penyerapan panas).

37. *Thermal Expansion / Strategic Expansion (Perluasan Pemasaran)*

- a. Gunakan ekspansi termal (kontraksi) dari bahan.
- b. Jika ekspansi termal sudah digunakan, maka gunakan beberapa bahan yang berbeda dengan koefisiensi termal.

38. *Strong Oxidant / Boosted Interaction (Interaksi dengan Masyarakat)*

- a. Mengganti keadaan yang biasa dengan keadaan yang lebih bermasyarakat.
- b. Meningkatkan partisipasi konsumen dalam pelayanan.
- c. Keadaan sekitar yang bertahan dari ancaman lingkungan lain.
- d. Menggunakan keadaan yang lebih baik.

39. *Inert Atmosphere (Lingkungan Netral)*

- a. Menggantikan lingkungan yang normal dengan lingkungan yang netral.
- b. Menambahkan bagian yang netral kedalam objek atau sistem.

40. *Composite Material (Komposisi Gabungan Bahan Baku)*

Perubahan terhadap beberapa bahan baku yang digunakan.

2.2.2.2. TRIZ 39 Parameter

Setelah mengetahui 40 prinsip yang telah dijelaskan sebelumnya, sangatlah penting untuk mengetahui bagaimana cara memilih prinsip yang tepat digunakan untuk suatu masalah tertentu. Formulasi *trade-off* dapat digunakan untuk mengeliminasi prinsip-prinsip yang tidak cocok untuk digunakan yang ditunjukkan oleh matriks kontradiksi. Berikut ini adalah ke-39 fitur-fitur standar yang telah ditetapkan (Domb et al., 1998):

Tabel 2. 2 TRIZ 39 Parameter

No	Judul	Penjelasan
	<i>Moving Object</i>	Objek yang dapat dengan mudah dirubah posisinya didalam sebuah ruangan baik dengan bantuan maupun tidak dengan bantuan untuk digerakan. Objek didesain untuk mudah digerakan/dipindahkan.
	<i>Stationary Object</i>	Objek yang tidak dapat berubah posisinya baik dengan bantuan maupun tidak dengan bantuan untuk menggerakannya. Hal ini tergantung pada kondisi objek yang sedang digunakan.

No	Judul	Penjelasan
1	<i>Weight of moving object</i>	Berat dari objek di ruangan dengan gravitasi normal. Tenaga yang digunakan untuk mensupport atau menekan objek tersebut.
2	<i>Weight of Stationary object</i>	Berat dari objek di ruangan dengan gravitasi normal. Tenaga yang digunakan untuk mensupport atau menekan objek tersebut atau pada saat objek tersebut diam.
3	<i>Length of moving object</i>	Salah satu dimensi ukuran, tidak yang terpanjang tentunya tetapi mempertimbang panjang.
4	<i>Length of stationary object</i>	Sama dengan <i>length of moving object</i> .
5	<i>Area of moving object</i>	Karakterisk geometris yang dijelaskan oleh bagian-bagian dari objek tersebut. Bagian permukaan yang digunakan oleh objek. Atau ukuran permukaan yang digunakan objek baik bagian dalam maupun luar dari objek.
6	<i>Area of stationary object</i>	Sama dengan <i>area of moving object</i> .
7	<i>Volume of moving object</i>	Ukuran volume yang digunakan dari objek. Panjang x tinggi x lebar untuk objek yang berbentuk kubus, tinggi x luas lingkaran untuk tabung, dll.
8	<i>Volume of stationary object</i>	Sama dengan <i>volume of moving object</i> .

No	Judul	Penjelasan
9	<i>Speed</i>	Kecepatan dari objek, rating dari proses atau gerakan dalam suatu waktu.
10	<i>Force</i>	Ukuran gaya yang digunakan didalam interaksi sistem. Di dalam fisika Newtonian, gaya = massa x percepatan. Di TRIZ, gaya adalah beberapa interaksi yang digunakan untuk mengganti kondisi dari objek.
11	<i>Stress of pressure</i>	Gaya tiap area unit dan juga tegangan.
12	<i>Shape</i>	Bentuk luar dari objek atau tampilan dari sebuah sistem.
13	<i>Stability of the object's composition</i>	Keseluruhan atau keseluruhan dari sistem, hubungan yang terjadi diantara elemen-elemen inti dari sistem. Ketahanan, pembusukan secara kimia dan membongkar semua kekurangan secara stabil. Meningkatkan entropi adalah mengurangi stabilitas objek.
14	<i>Strength</i>	Tingkatan sebuah objek untuk menahan perubahan gaya. Daya tahan untuk tidak hancur.
15	<i>Duration of action by a moving object</i>	Waktu yang digunakan objek untuk dapat bekerja sesuai fungsi. Waktu produktif objek. Waktu rata-rata antara kerusakan yang terjadi adalah ukuran dari waktu bekerja objek. Dan juga durabilitas objek.
16	<i>Duration of action by a stationary object</i>	Sama dengan <i>duration of action by moving object</i> .
17	<i>Temperature</i>	Kondisi termal dari objek atau sistem. Melonggarkan termasuk didalamnya parameter termal lainnya seperti kapasitas suhu yang menyebabkan tingkat perubahan temperatur.
18	<i>Illumination intensity</i>	Perubahan terus menerus secara cepat setiap unit area juga
	<i>*(jargon)</i>	karakter penerangan lainnya dari sistem seperti tingkat keterangan, kualitas cahaya, dll.
19	<i>Use of energy by moving object</i>	Ukuran kapasitas objek untuk melakukan fungsinya. Di mekanika klasik, energi adalah bentuk dari gaya, waktu dan jarak. Hal ini termasuk pemakaian energi yang disediakan oleh <i>super-system</i> (seperti energi listrik atau energi panas). Energi membutuhkan perlakuan khusus.
20	<i>Use of energy by stationary object</i>	Sama dengan <i>use of energy by moving object</i> .
21	<i>Power *(jargon)</i>	Waktu yang digunakan objek pada saat melaksanakan fungsinya. Jumlah dalam menggunakan energi.
22	<i>Loss of energy</i>	Menggunakan energi yang tidak memberikan kontribusi untuk menyelesaikan pekerjaan. Lihat point 19. Untuk mengurangi energi yang terbuang sia-sia membutuhkan teknik yang berbeda dari improvisasi penggunaan energi oleh karena itu mengapa bagian ini dipisahkan.
23	<i>Loss of substance</i>	Setengah jadi atau jadi, permanen atau temporer, menghilangkan beberapa bahan baku/data dari sistem, bahan, <i>part</i> atau subsistem.
24	<i>Loss of Information</i>	Setengah jadi atau jadi, permanen atau temporer, menghilangkan data atau akses data didalam sistem secara

No	Judul	Penjelasan
		berulang-ulang termasuk data tentang indra manusia seperti bau, tekstur dll.
25	<i>Loss of Time</i>	Waktu adalah durasi dari sebuah aktivitas. Memperbaiki waktu yang hilang berarti mengurangi waktu yang digunakan untuk beraktivitas.
26	<i>Quantity of substance /the matter</i>	Angka atau jumlah dari bahan yang digunakan, bahan baku, part atau subsistem yang mungkin diganti secara utuh atau perbagian secara permanen atau temporari.
27	<i>Reliability</i>	Kemampuan sistem dalam menjalankan fungsi yang diharapkan yang telah diprediksikan sesuai dengan kondisi yang ada.
28	<i>Measurement accuracy</i>	Kemiripan dari nilai yang dihitung dengan nilai di dunia nyata dari properti sistem. Mengurangi kesalahan yang terjadi saat melakukan pengukuran agar lebih akurat.
29	<i>Manufacturing precision</i>	Meluaskan karakteristik aktual yang ada dari sebuah sistem atau perhitungan pada objek secara spesifik atau karakteristik permintaan yang ada.
30	<i>External harm affects the object</i>	Kelemahan dari sistem untuk menghindari efek <i>externally generated</i> (berbahaya).
31	<i>Object-generated harmful factors</i>	Efek yang berbahaya adalah salah satu yang mengurangi efisiensi atau kualitas fungsi dari objek atau sistem. Efek tersebut distandarkan oleh objek atau sistem sebagai bagian dari operasionalnya.
32	<i>Ease of manufacture</i>	Derajat dari fasilitas, nyaman atau tidak membutuhkan banyak tenaga dalam proses manufaktur atau fabrikasi dari objek atau sistem.
33	<i>Ease of operation</i>	Proses tidak mudah jika membutuhkan pekerja yang banyak, langkah pekerjaan yang banyak, membutuhkan alat khusus dll. <i>Hard Processes</i> hasilnya rendah dan <i>Easy Processes</i> hasilnya tinggi; semuanya mudah untuk melakukan yang benar.
34	<i>Ease of repair</i>	Karakteristik kualitas seperti kemudahan, kenyamanan, simple dan waktu yang digunakan untuk memperbaiki kesalahan, kerusakan atau cacat didalam sistem.
35	<i>Adaptability or versality</i>	Perluasan bagi sistem atau objek untuk menerima secara positif perubahan dari luar. Juga sistem yang dapat digunakan dalam beberapa cara pada beberapa lingkungan yang tidak baik.
36	<i>Device complexity</i>	Jumlah dan perbedaan dari elemen-elemen dan elemen timbal balik diantara sistem. Pengguna bisa jadi menjadi bagian dari sistem yang meningkatkan tingkat kompleksitas. Kesulitan dalam menguasai sebuah sistem adalah ukuran dari kompleksitas tersebut.
37	<i>Difficulty of detecting and measuring</i>	Mengukur atau mengamati sistem yang kompleks, mahal membutuhkan waktu yang banyak dan pekerja untuk men-setup dan menggunakannya atau yang mempunyai hubungan kompleks antara komponen atau komponen yang

No	Judul	Penjelasan
		mempengaruhi yang lain “difficulty of detecting and measuring”. Meningkatkan biaya dalam pengukuran ketidakpuasan juga tanda meningkatnya tingkat kesulitan dalam pengukuran.
38	<i>Extent of automation</i>	Perluasan bagi fungsi suatu sistem atau objek tanpa campur tangan manusia. Level terendah dalam automasi adalah menggunakan alat operasi manual. Untuk level lanjutan program yang dibuat manusia sebagai alat, mengamati operasi tersebut dan menyela atau memrogram ulang jika dibutuhkan. Untuk level tertinggi, mesin mengerti kebutuhan operator, memrogram sendiri dan mengamati operasinya sendiri.
39	<i>Productivity *</i>	Jumlah fungsi atau performa operasional oleh sistem tiap satuan waktu. Waktu untuk unit berfungsi atau beroperasi. <i>Output</i> tiap satuan waktu atau biaya tiap <i>output</i> yang dihasilkan.

2.2.2.3. Matriks Kontradiksi TRIZ

Kontradiksi desain antara dua parameter kerja dapat diselesaikan dengan menggunakan satu atau lebih 40 dasar inovasi yang ada. Untuk mewakili kondisi kontradiksi teknis ini TRIZ telah memilih 39 parameter sistem dan menyediakan matriks permasalahan berukuran 39 x 39. Langkah-langkah yang harus diikuti untuk dapat bekerja dalam matriks kontradiksi tersebut adalah

- Memilih fitur standar yang paling mendekati fitur yang akan dikembangkan dari fitur standar dan yang paling mendekati fitur yang tidak dibutuhkan lagi.
- Temukan baris pada matriks kontradiksi yang merupakan fitur standar yang akan dikembangkan.
- Temukan kolom pada matriks kontradiksi yang merupakan fitur standar yang tidak dibutuhkan lagi.
- Pada sel perpotongan antara kolom dan baris terdapat nomor-nomor yang direkomendasikan.
- Lihat prinsip-prinsip tersebut pada daftar 40 prinsip TRIZ dan gunakan untuk menghasilkan ide-ide dalam menyelesaikan permasalahan.