

Desain Mekanisme Alternatif Penerus Daya dari Poros Turbin Propeler ke Poros Generator dengan Menggunakan TRIZ

Indra Djodikusumo^{1, a *}, Fachri Koeshardono^{2, b}, Iwan Sanjaya Awaluddin^{3, c}
Duddy Arisandi^{4, d}, dan Ruswandi^{5, e}

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha no.10, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia.

⁴Akademi Teknik Soroako, Jalan Soemantri Brodjonegoro no.1, Soroako 92984, Sulawesi Selatan, Indonesia.

⁵Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Jalan Kanayakan Dago no.21, Bandung 40135, Jawa Barat, Indonesia.

^adjodikusumo.indra@gmail.com, ^bfahrimason@gmail.com, ^ciwanteknikmesin08@gmail.com,
^dduddy_arisandi@yahoo.com, ^eruswandi@gmail.com

Abstrak

Suatu turbin air propeler berskala mikro rencananya dioperasikan pada *Head* 7 m dan debit 0.5 m³/s. Turbin tersebut dihubungkan ke generator dengan menggunakan sistem transmisi konvensional, *pulley* dan *belt* untuk transmisi daya dari poros turbin ke poros generator. Agar efisiensi transmisi tinggi maka tegangan pada belt *harus tinggi*, sehingga tegangan tarik di belt menjadi besar. Akibatnya akan terjadi beban *bending* dan defleksi pada poros sehingga diperlukan diameter poros besar. Di samping itu diameter bantalan yang diperlukan juga akan besar. Permasalahan ini akan dipecahkan dengan menggunakan TRIZ (Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadach) atau TIPS (Theory of Inventive Problem Solving), suatu metode tentang bagaimana menjadi kreatif dan inovatif dalam pemecahan masalah, yang dikembangkan oleh Genrich Alltshuller dan kelompoknya. Dengan menggunakan teori kontradiksi kita akan dituntun oleh TRIZ ke arah 40 Solusi Inventif. Pada makalah ini akan diuraikan perbedaan mekanisme transmisi baru yang diusulkan untuk menggantikan mekanisme transmisi yang lama, berikut analisis ongkos untuk membuat mekanisme transmisi yang lama dan mekanisme transmisi yang baru. Dengan mekanisme transmisi yang baru diperlukan ongkos produksi yang lebih tinggi, sekitar Rp. 4 Juta, namun umur bantalan akan lebih lama, sebab tidak dibebani secara maksimum. Untuk dapat menghitung ongkos produksi perlu dilakukan perencanaan proses pembuatan untuk masing-masing mekanisme transmisi.

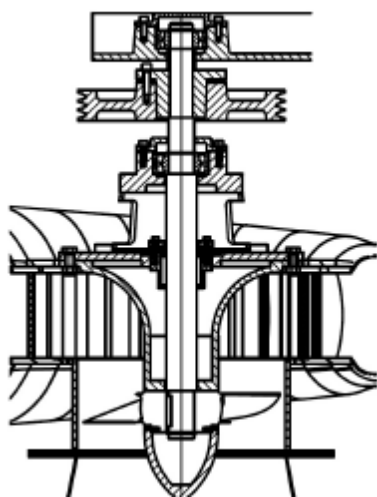
Kata kunci : Mekanisme Transmisi Daya, TRIZ, Teori Kontradiksi, 40 Solusi Inventif, Analisis Ongkos Produksi

Pendahuluan

Mekanisme transmisi daya yang lazim digunakan untuk turbin propeler vertikal berskala mikro (35 kW) adalah menggunakan *belt & pulley* (Gambar-1). Dengan mekanisme tersebut terjadi kontradiksi, di mana bila diinginkan efisiensi transmisi tinggi maka sabuk harus dikencangkan, dengan memperbesar jarak antara puli, agar slip yang terjadi tidak besar. Akibatnya terjadi beban

tarik yang tinggi pada sabuk, dan sekaligus beban lentur pada poros, sehingga poros turbin harus dirancang dengan diameter poros yang besar. Demikian pula dengan bantalannya, yang harus dipilih dengan kapasitas yang lebih tinggi. Karena bantalan bekerja keras, maka umur bantalan-nya diperkirakan tidak lama. Kontradiksi semacam itu biasa terjadi dalam perancangan mesin, dan biasanya dicari komprominya. Pada kasus ini digunakan teori kontradiksi yang dibuat oleh Genrich

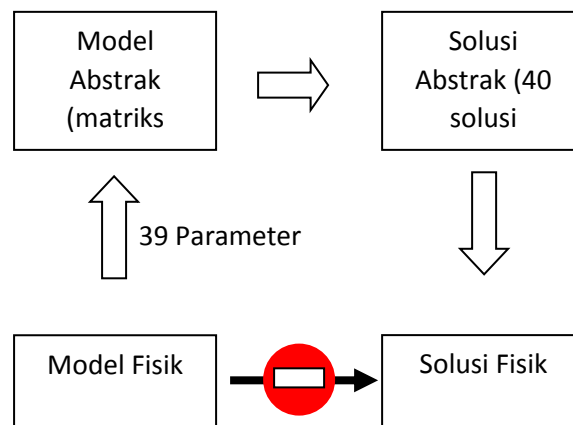
Altshuller untuk mendapatkan solusinya, di mana solusi tersebut tanpa kompromi (tanpa dilakukannya *trade off*) [1].



Gambar-1: Potongan model turbin propeler vertikal berskala mikro dengan menggunakan rumah keong

TRIZ (Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadach) dan teori kontradiksi

Genrich Altshuller menemukan teori pemecahan masalah inventif, yang dalam bahasa aslinya yaitu bahasa Rusia dinamakan dengan TRIZ (Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadach). Dalam teorinya, Genrich Altshuller mengusulkan bahwa setiap masalah fisik (nyata), apabila dijadikan abstrak dengan mengikuti aturan-aturan yang diusulkan oleh Genrich Altshuller, maka solusinya selalu itu dan itu saja (**Gambar-2**). Oleh Genrich Altshuller masalah abstrak didefinisikan dengan menggunakan 39 parameter teknik (**Tabel-1**), di mana ada parameter teknik yang menguntungkan dan parameter teknik yang merugikan. Dengan ditemukannya parameter yang menguntungkan dan parameter yang merugikan, Genrich Althuller menuntun orang ke 40 solusi inventif. Solusi inventif tersebut berada dalam level abstrak, yang kemudian harus dicari sendiri solusi fisik yang mewakili solusi abstrak tersebut. Model pemecahan masalah inventif dengan teori kontradiksi ditunjukkan pada **Gambar-2**.



Gambar-2: Model pemecahan masalah inventif dengan menggunakan Teori Kontradiksi dari TRIZ [2]

Pemecahan masalah inventif dari TRIZ dimodelkan sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar-2**. Masalah fisik dilarang dicarikan solusi fisiknya secara langsung (tanda lalu lintas “**dilarang**” pada **Gambar-2**), sebab akan mengurangi imajinasi kita dalam menemukan konsep solusi yang diharapkan dapat beragam (dalam rangka menjadi kreatif dan tentu saja pada gilirannya menjadi inovatif). Setiap masalah fisik (nyata) perlu dicari kontradiksinya dengan menggunakan 39 parameter teknik yang disediakan di dalam TRIZ. Parameter teknik tersebut mewakili parameter yang menguntungkan (*improving*) dan parameter yang merugikan (*worsening*). Dalam beberapa masalah inventif, parameter-parameter tersebut dengan relatif mudah bisa ditemukan. Namun dalam beberapa masalah yang lain diperlukan alat untuk mencari indikasi kontradiksinya.

Parameter yang menguntungkan (*improving parameter*) adalah:

“Efisiensi bisa tinggi bila tegangan tarik sabuk diperbesar”.

Parameter yang merugikan (*worsening parameter*) adalah:

“Tegangan sabuk diperbesar akan memperbesar beban lentur pada poros, sehingga diameter poros harus besar. Demikian pula dengan bantalan yang juga harus lebih besar”.

39 parameter teknik yang diusulkan oleh Genrich Altshuller bersama kelompoknya adalah sebagai berikut (**Tabel-1**).

Tabel-1: 39 Parameter Teknik/Fitur [3]

Parameter	Parameter Teknik
1	<i>Weight of moving object</i>
2	<i>Weight of stationary object</i>
3	<i>Length of moving object</i>
4	<i>Length of stationary object</i>
5	<i>Area of moving object</i>
6	<i>Area of stationary object</i>
7	<i>Volume of moving object</i>
8	<i>Volume of stationary object</i>
9	<i>Speed</i>
10	<i>Force (Intensity)</i>
11	<i>Stress or pressure</i>
12	<i>Shape</i>
13	<i>Stability of the object's composition</i>
14	<i>Strength</i>
15	<i>Duration of action of moving object</i>
16	<i>Duration of action by stationary object</i>
17	<i>Temperature</i>
18	<i>Illumination intensity</i>
19	<i>Use of energy by moving object</i>
20	<i>Use of energy by stationary object</i>
21	<i>Power</i>
22	<i>Loss of Energy</i>
23	<i>Loss of substance</i>
24	<i>Loss of Information</i>
25	<i>Loss of Time</i>
26	<i>Quantity of substance/the matter</i>
27	<i>Reliability</i>
28	<i>Measurement accuracy</i>
29	<i>Manufacturing precision</i>
30	<i>Object-affected harmful factors</i>
31	<i>Object-generated harmful factors</i>
32	<i>Ease of manufacture</i>
33	<i>Ease of operation</i>
34	<i>Ease of repair</i>
35	<i>Adaptability or versatility</i>
36	<i>Device complexity</i>
37	<i>Difficulty of detecting and measuring</i>
38	<i>Extent of automation</i>
39	<i>Productivity</i>

Matriks kontradiksi dan 40 solusi inventif [4, 5, 6]

Parameter yang menguntungkan, yaitu “Efisiensi bisa tinggi bila tegangan tarik sabuk diperbesar” dicarikan padanannya di parameter teknik, misalnya “area of moving object” (**parameter teknik nomer 5**). dengan diperbesar tegangan sabuk maka luas permukaan kontak antara sabuk dengan puli akan meningkat. Dalam hal ini sabuk dan puli bergerak satu terhadap yang lain.

Parameter yang merugikan, yaitu “Tegangan sabuk diperbesar akan memperbesar beban lentur pada poros, sehingga diameter poros harus besar. Demikian pula dengan bantalan yang juga harus lebih besar” juga dicarikan padanannya parameter teknik-nya, dan misalnya ditemukan yaitu “*Object-affected harmful factors*” (**parameter teknik nomer 30**).

Kedua parameter teknik tersebut, yaitu parameter teknik yang menguntungkan dan untuk parameter teknik yang merugikan dicarikan solusinya namun dalam tataran abstrak, dengan menggunakan matriks kontradiksi (**Gambar-3**).

		Worsening Parameters					
		1	2	..	30	..	39
Improving Parameters	1						
	2						
	3						
	..						
	5				22,33, 28,1		
	..						
	..						
	39						

Gambar-3: Matriks kontradiksi

Antara baris dengan parameter yang menguntungkan nomer 5 dan kolom dengan parameter yang merugikan nomer 30, terdapat sel yang berisi angka 22, 33, 28 dan 1. Angka-angka tersebut merupakan usulan solusi di tataran abstrak. Di mana:

- 22: "Blessing in disguise"
33: "Homogeneity"
28: "Mechanics substitution"
1: "Segmentation"

Tentu saja usulan solusi di tataran abstrak tersebut tidak bermakna bilamana tidak diterjemahkan ke solusi fisik (nyata). 40 usulan solusi inventif dari TRIZ secara lengkap adalah seperti diuraikan dalam **Tabel-2**.

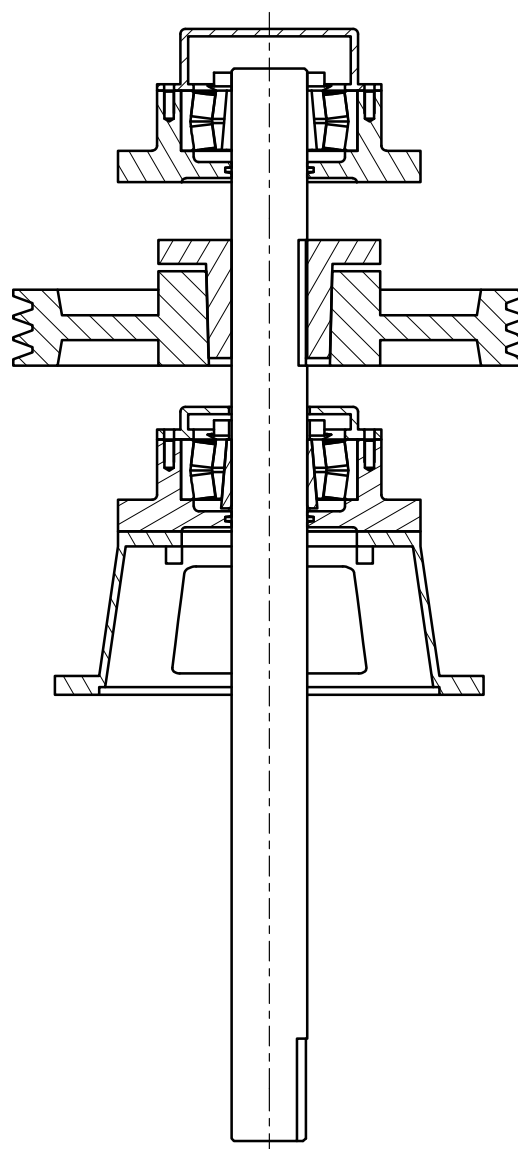
Tabel-2: 40 usulan solusi inventif [2]

Usulan solusi inventif	Keterangan
1	<i>Segmentation</i>
2	<i>Taking out</i>
3	<i>Local quality</i>
4	<i>Asymmetry</i>
5	<i>Merging or Combining</i>
6	<i>Universality</i>
7	<i>Nested doll</i>
8	<i>Anti-weight</i>
9	<i>Preliminary anti-action</i>
10	<i>Preliminary action</i>
11	<i>Beforehand cushioning</i>
12	<i>Equipotentiality</i>
13	<i>The other way round</i>
14	<i>Spheroidality - Curvature</i>
15	<i>Dynamics</i>
16	<i>Partial or excessive actions</i>
17	<i>Another dimension</i>
18	<i>Mechanical vibration</i>
19	<i>Periodic action</i>
20	<i>Continuity of useful action</i>
21	<i>Skipping</i>
22	<i>Blessing in disguise</i>
23	<i>Feedback</i>
24	<i>Intermediary</i>
25	<i>Self-service</i>
26	<i>Copying</i>
27	<i>Cheap short-living objects</i>
28	<i>Mechanics substitution</i>
29	<i>Pneumatics and hydraulics</i>
30	<i>Cheap short-living objects</i>
31	<i>Porous materials</i>
32	<i>Color changes</i>

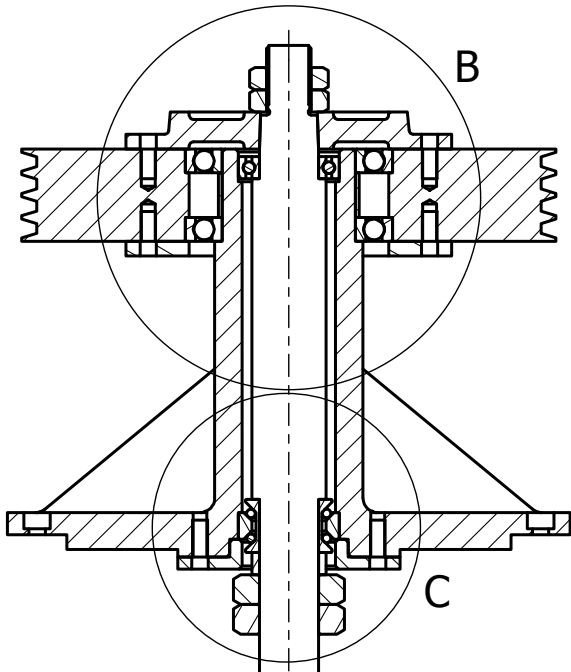
33	<i>Homogeneity</i>
34	<i>Discarding and recovering</i>
35	<i>Parameter changes</i>
36	<i>Phase transitions</i>
37	<i>Thermal expansion</i>
38	<i>Strong oxidants</i>
39	<i>Inert atmosphere</i>
40	<i>Composite materials</i>

Usulan mekanisme transmisi yang baru

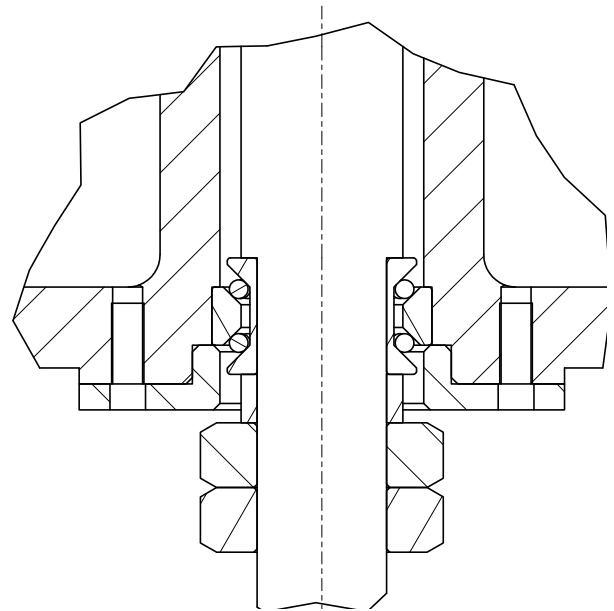
Dari 4 proposal solusi bernomer 22, 33, 28 dan 1 dipilih solusi nomer 28, yaitu *mechanics substitution*. Mekanisme transmisi daya pada mulanya (**Gambar-4**) diganti oleh mekanisme transmisi daya yang diusulkan sebagai pengganti (**Gambar-5**).



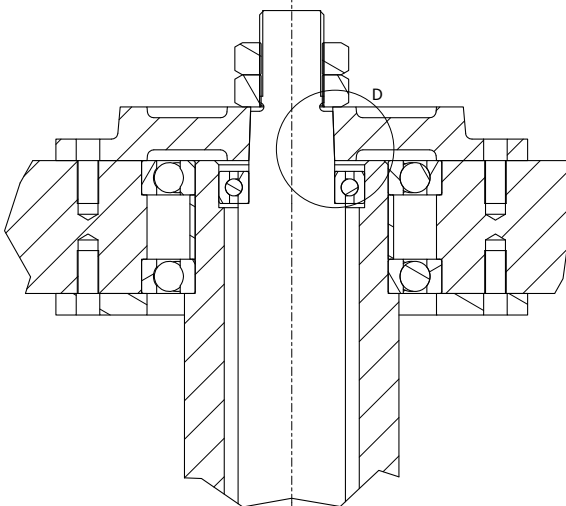
Gambar-4: Mekanisme transmisi daya pada kondisi awal (yang lama)



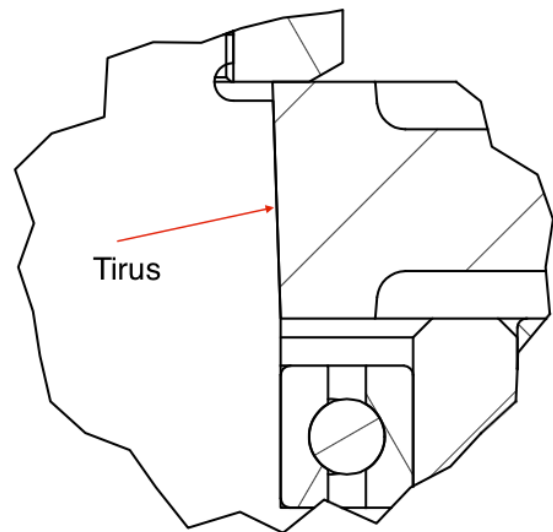
Gambar-5: Mekanisme transmisi daya yang diusulkan



Gambar-7: Bagian C dari mekanisme transmisi daya yang diusulkan



Gambar-6: Bagian B dari mekanisme transmisi daya yang diusulkan



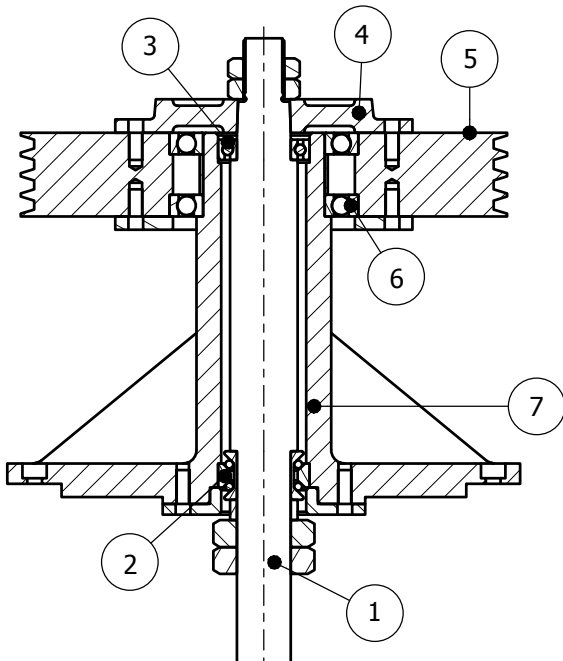
Gambar-8: Bagian D dari mekanisme transmisi daya yang diusulkan

Pada mekanisme transmisi daya yang lama (kondisi awal) puli terpasang pada poros (**Gambar-4**). Dengan demikian, bilamana tegangan sabuk diperbesar, agar efisiensi transmisi daya meningkat, tenangan tarik di sabuk menjadi besar, dan beban lentur di poros juga membesar. Sebagai konsekuensi, poros dan bantalan yang diperlukan juga semakin besar.

Pada mekanisme transmisi daya yang baru (yang diusulkan) puli tidak terpasang langsung di poros, namun bertumpu pada bantalan 6 (**Gambar-9**). Bantalan 6 bertumpu pada selubung 7 (**Gambar-9**). Selubung 7 merupakan frame yang bertumpu pada bantalan 3 dan bantalan 2 (**Gambar-9**).

Dengan demikian, pada mekanisme transmisi daya yang diusulkan, torsi pada poros diteruskan ke puli melalui komponen no 4 yang menyatu dengan poros melalui tirus

(Gambar-8), di mana komponen no 4 menyatu dengan puli, sementara puli bergerak bebas relatif terhadap poros karena ada bantalan no 6.



Gambar-9: Komponen-komponen utama dari mekanisme transmisi daya yang diusulkan

Analisis ongkos untuk mekanisme transmisi yang lama dan baru

Ongkos pembuatan terdiri dari 2 unsur yaitu: harga material dan biaya pembuatan. Kecuali poros, harga material diasumsikan menggunakan bahan yang sama yaitu baja ST-37. Material baja St-37 dijual di pasar dengan harga persatuan massa (Rp./kg), yang diasumsikan Rp. 18.500/kg. Poros yang dibuat dengan menggunakan material baja EMS-45 dijual di pasar dengan harga Rp. 22.000/kg.

Untuk biaya pemesinan dan pengelasan digunakan harga per jam (Rp./jam). Untuk pengelasan digunakan satuan harga per elektroda. Terdapat 4 macam harga proses pemesinan yaitu:

Jenis Proses	Rp./jam atau Rp./elektroda
Bubut	25000
Frais	40000
Bor	15000
Las	15000

Sebagai contoh dalam menghitung digunakan shaft pada desain yang baru,

Bahan baku poros berdiameter 57 mm dengan panjang 702 mm. Ukuran akhir poros adalah berdiameter 50 mm dengan panjang 696 mm. Massa bahan baku (material) poros adalah 14.1 kg. Harga dari bahan baku poros adalah Rp. 310.000. Ongkos proses pemesinan untuk poros yang dibubut selama kurang lebih 8 jam menjadi sama dengan Rp. 200.000. Dengan demikian harga poros diperkirakan sama dengan Rp. 510.000.

Dengan menggunakan cara tersebut dapat dihitung biaya material dan biaya pemesinan untuk komponen-komponen yang lain.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa harga sistem mekanisme transmisi yang baru lebih mahal sekitar Rp. 4 Juta dibandingkan dengan sistem transmisi yang lama.

Kesimpulan

- 1) Ditemukan pengganti sistem mekanik, sesuai solusi TRIZ dengan menggunakan teori kontradiksi.
- 2) Konstruksi sistem transmisi daya yang diusulkan menjadi lebih kompak (diameter poros 10 mm lebih kecil daripada diameter awal), ukuran bantalan juga menjadi lebih kecil, namun harganya menjadi Rp. 4 Juta lebih mahal, kira-kira 10 % dari harga pokok produksi turbin.
- 3) Beban lentur di poros menjadi hilang digantikan dengan beban torsi di komponen yang bertirus (**Gambar-8**).

Referensi

- [1] G. Altshuller, And Suddenly the Inventor Appeared, Worcester Massachusetts, Januari 1996.
- [2] D. Silverstein, N.D. Carlo, M. Slocum, Insourcing Innovation, Auerbach Publications, 2008.
- [3] K. Rantanen, E. Domb, Simplified TRIZ, Auerbach Publications, 2008.

[4] V. Fey and E. Rivin, Innovation on Demand, Cambridge University Press, 2005.

[5] Y. Salamatov, The Right Solution at the Right Time, Institute of Innovative Design, 2005.

[6] S.D. Savransky, Engineering of Creativity, CRC Press, 2000.