

PENENTUAN PRIORITAS ASET PERALATAN KRITIS PRODUKSI PDAM XYZ DENGAN METODE *ANALYTIC HIERARCHY PROCESS*

Muhammad Taufik

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Pontianak, 78124
E-Mail: taufikemo19@gmail.com

Abstrak: salah satu perusahaan yang memiliki aset peralatan dan proses produksi yang kompleks adalah PDAM XYZ yang terletak di Jalan Imam Bonjol, Kota Pontianak. PDAM XYZ merupakan perusahaan milik daerah yang beroperasi sejak tahun 1975 dan melakukan proses produksi dan distribusi air bersih kepada masyarakat Kota Pontianak. Bahan baku air yang digunakan dalam proses produksi yaitu air permukaan sungai Kapuas. Proses produksi dilakukan kurang lebih selama 24 jam dan menerapkan sistem *continuos flow*, selain menghasilkan air bersih setiap saat tetapi juga beresiko tinggi karena beberapa alat produksi mengalami kerusakan (*failure*) yang kritis dengan kondisi manajemen perawatan yang kurang efektif, hal itu ditunjukkan dengan adanya alat produksi yang dioperasikan melebihi batas waktu. Hal tersebut akan menimbulkan kerugian akibat kerusakan beberapa peralatan proses produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan prioritas aset peralatan kritis produksi PDAM XYZ dan menerapkan strategi perawatan efektif serta perbaikan dalam manajemen perawatan berdasarkan prioritas nilai bobot peralatan kritis melalui penilaian *group decision making* menggunakan metode AHP dengan kriteria *failure frequency* (FF), *failure detection* (FD), *failure severity* (FS) dan *failure cost* (FC).

Hasil pengolahan data menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) menunjukkan bahwa pompa sentrifugal merupakan prioritas pertama aset peralatan kritis dan *mixer* urutan kedua prioritas aset peralatan kritis dengan nilai bobot 0,361456 atau 36,146% dan 0,258405 atau 25,841%, motor *electric* dan kompresor masuk dalam prioritas aset peralatan kritis ketiga dan keempat dengan nilai bobot 0,173078 atau 17,307% dan 0,17181 atau 17,1809%, *valve* dan *flow meter* masuk dalam prioritas aset peralatan kritis kelima dan keenam dengan nilai bobot 0,020016 atau 2,0016% dan 0,015056 atau 1,5056% maka diberikan usulan strategi perawatan yang efektif yang dapat memberikan suatu perbaikan berdasarkan prioritas aset kritis. Strategi perawatan prioritas penyesuaian aset peralatan kritis adalah dengan menerapkan strategi *preventive maintenance* dengan nilai bobot dan analisis sistem konfigurasi kerusakan elemen peralatan.

Kata kunci : Aset Prioritas Produksi, AHP, *Criticality Analysis*, Kriteria *Failure*, Strategi Perawatan

1. Pendahuluan

Sejak terjadinya revolusi industri maka banyak sekali muncul perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur dan jasa. Perusahaan manufaktur dan jasa tersebut pasti memiliki berbagai jenis aset karena aset merupakan hal yang sangat penting bagi suatu perusahaan khususnya aset yang mencakup proses produksi. Aset peralatan produksi terdiri dari berbagai macam peralatan (*physical item*) yang saling berintegrasi satu dengan yang lain dalam skala besar ataupun kecil.

Perusahaan yang memiliki aset peralatan dan proses produksi yang kompleks adalah PDAM XYZ yang bergerak dalam proses produksi dan distribusi air bersih kepada masyarakat Kota Pontianak yang menggunakan bahan baku air permukaan sungai Kapuas. Proses pengolahan air baku yang dilakukan kurang lebih selama 24 jam dan sistem produksi menggunakan sistem *continuos flow*, sistem produksi *continous flow* selain menghasilkan air bersih setiap saat akan tetapi juga memiliki resiko karena peralatan produksi beroperasi secara terus menerus hal tersebut ditunjukkan dengan adanya peralatan inti produksi mengalami kerusakan mencapai tingkat kritis. Permasalahan lain adalah jaranganya tindakan perawatan berkala, lamanya proses perbaikan peralatan yang dilakukan seksi perawatan akibatnya salah satu alat bekerja kurang lebih selama 24 jam, beberapa *spare part* peralatan harus dipesan dari luar hal ini menyebabkan *lead time* yang cukup lama dan sistem manajemen perawatan yang kurang efektif. Kerugian PDAM XYZ yang disebabkan oleh kondisi aset peralatan kritis cukup besar. PDAM XYZ sejak lama menerapkan sistem perawatan *corrective maintenance* diseluruh aset peralatan produksi. Salah satu kelemahan *corrective maintenance* adalah *failure* yang terjadi pada aset peralatan produksi (kompleks) kemungkinan tinggi dan kemungkinan tidak terprediksi.

2. Tinjauan Pustaka

a. Pengertian Aset

Menurut Hastings, (2014) aset adalah item, barang atau entitas yang mempunyai nilai nyata bagi organisasi atau perusahaan. Aset dapat dibagi menjadi beberapa bagian yang meliputi aset fisik (*physical asset*), aset finansial (*financial asset*), aset informasi (*information asset*) dan aset tidak tampak yang dapat disebut (*intangibile asset*). Aset fisik (*physical asset*)

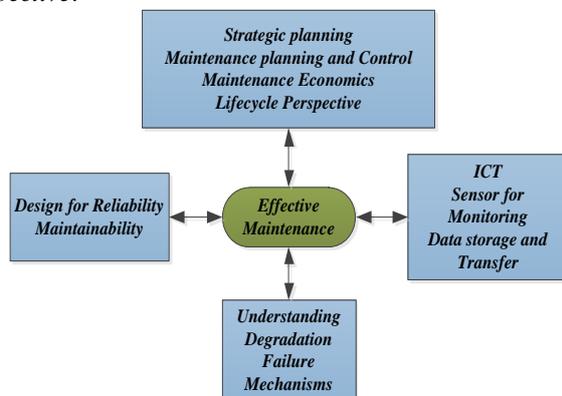
adalah aset yang dimiliki oleh individu atau perusahaan yang mana aset tersebut berbentuk fisik (berwujud) contohnya infrastruktur, bangunan gedung, alat transportasi, peralatan (*equipment*), mesin dan lain sebagainya.

b. Perawatan (*maintenance*)

Menurut Ben daya, et all (2016) perawatan atau *maintenance* adalah seluruh bentuk teknis, administrasi dan penerapan sistem manajerial dari awal permulaan siklus (*life cycle*) suatu item.

c. Perawatan Efektif

Menurut Ben daya, et all (2016) perawatan efektif berhubungan dengan pengambilan keputusan dan harus dimuat dalam suatu *frame work* meliputi *technical, commercial* dan isu-isu mengenai manajerial berdasarkan perspektif bisnis. Ada empat elemen penting yang ada dalam proses perawatan efektif yaitu *engineering, technology, management* dan *Science*. Salah satu elemen yang disebut yaitu proses manajemen perawatan yang terdiri dari strategi perencanaan (*strategic planning*), perencanaan dan pengendalian perawatan (*maintenance planning and control*), *maintenance economics* dan *life cycle perspective*.



Gambar 1. Elemen *effective maintenance*

Penentuan prioritas aset peralatan kritis merupakan salah satu bentuk strategi perencanaan (*strategic planning*) dan pengendalian perawatan yang dapat dilakukan untuk mencapai pemeliharaan yang efektif.

Menurut Smith dan Mobley, (2008) analisa kritis yang dilakukan pada aset peralatan digunakan untuk mengidentifikasi peralatan kritis mana yang paling besar memberikan dampak pada kinerja proses bisnis dan aset mana yang memberikan dampak negatif dan positif. Norzok *standard*, (2001) analisa kritis (*criticality analysis*) adalah analisis pengukuran kejadian kegagalan dan tingkatan (*ranging*) guna menentukan tingkat konsekuensinya.

d. Hubungan Aset Kritis dengan Perawatan Efektif

Penerapan analisis aset peralatan kritis akan membantu mencapai sistem perawatan efektif hal ini karena proses analisis peralatan kritis nantinya memberikan suatu perbaikan (*improvement*) perawatan dan dapat merencanakan suatu strategi perawatan. Menurut *American Institute of Chemical Engineer*, (2017) penentuan aset kritis memberikan kesempatan untuk melakukan adaptasi strategi perawatan aset yang

masuk dalam kategori kritis. Penetapan aset kritis akan memberikan dampak pada level *availability*. Ada beberapa alasan analisis aset kritis antara lain :

1. Untuk menetapkan prioritas penerapan *preventive, predictive maintenance* dan lainnya.
2. Untuk menjelaskan tingkatan level optimum keadaan *spare part* dan sumber yang lain.

e. Pengertian *Failure*

Menurut Narayan, (2004) *failure* adalah kondisi dimana item atau peralatan, sistem dan sub sistem tidak bekerja pada kondisi yang normal. Menurut Marquez, (2007) menyatakan bahwa proses yang kompleks terutama yang melibatkan aset peralatan produksi dapat ditentukan tingkat kritisnya dengan empat kriteria *failure*. Kriteria tersebut dapat digunakan untuk penyesuaian prioritas aset peralatan yang kritis..

1. *Failure detection* (FD) adalah pendeteksian gejala kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada peralatan dan lebih berhubungan pada *protection, control* dan *warning system* untuk keselamatan pendeteksian kejadian kegagalan atau kerusakan. Informasi mengenai aspek yang berhubungan dengan instrumentasi, pengendalian, keselamatan dan sistem proteksi dapat dipertimbangkan dalam penentuan prioritas aset peralatan kritis.

2. *Failure severity* (FS) merupakan tingkat keparahan atau keseriusan terjadinya kegagalan pada item dan berhubungan dengan pengaruh kerusakan item, keselamatan, lingkungan dan proses operasi. Dapat mempertimbangkan tingkat keparahan dan pengaruh kerusakan misalnya kerusakan membuat keadaan yang komplikasi terhadap regulasi alat, kerusakan yang terjadi mengurangi kepuasan pelanggan, menimbulkan keluhan pelanggan, mempengaruhi produksi dan kualitas pelayanan dan lain sebagainya.

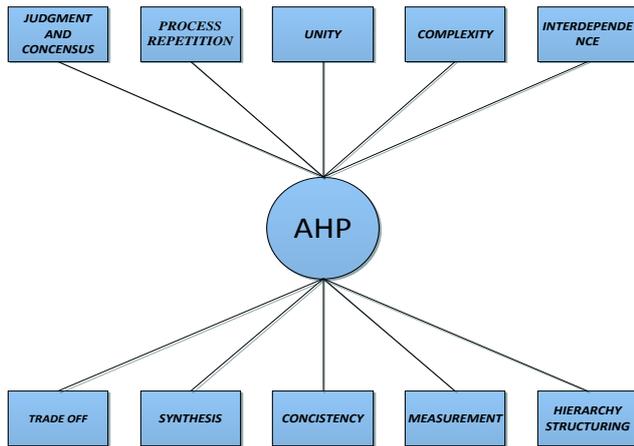
3. *Failure cost* (FC) adalah kondisi kerusakan yang berpengaruh pada biaya yang akan dikeluarkan dalam hal ini menyangkut biaya *repair*, biaya langsung, biaya tidak langsung, biaya perawatan dan lain-lain, dapat mempertimbangkan pengaruh kerusakan item secara ekonomi (*safety, environment* dan proses operasi) misalnya kerusakan yang terjadi mengakibatkan biaya pemeliharaan yang signifikan, hilangnya produksi, biaya ganti rugi dan lain-lain.

4. *Failure frequency* (FF) adalah tingkat frekuensi kerusakan atau kegagalan yang terjadi pada peralatan yang digunakan pada proses produksi misalnya, kerusakan terjadi setiap hari, minggu, bulan dan lain-lain.

f. Metode AHP

Metode AHP (*Analytic Hierarchy Process*) pertama kali dikembangkan oleh Profesor Thomas Lorie Saaty saat berada di *Whartoon School of Bussiness* pada tahun 1970an. Metode AHP ini khususnya pembuat keputusan (*decision makers*) dapat memodelkan suatu permasalahan yang bersifat kompleks digambarkan kedalam sebuah bentuk struktur hirarki yang melibatkan tujuan (*goal*), kriteria, sub kriteria dan alternatif. Metode *Analytic Hierarchy*

Process juga dapat menggunakan data-data, pengalaman (*experience*), intuisi kedalam logika Forman, (2002).



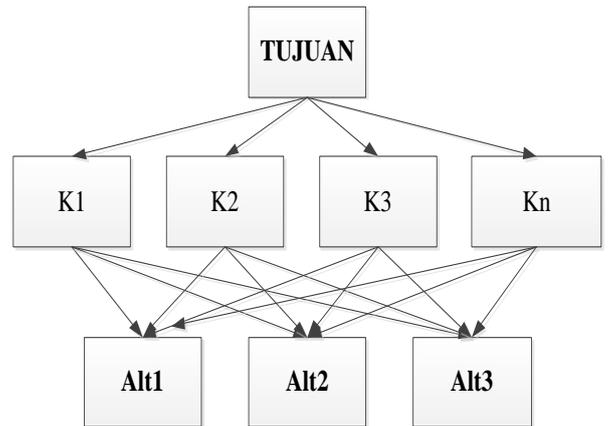
Gambar 2. Kelebihan metode AHP

Ada empat aksioma metode AHP sebagai berikut :

1. Dua alternatif atau sub-keriteria i dan j yang keluar dari pasangan alternatif, maka pembuat keputusan mampu memberikan perbandingan berpasangan a_{ij} dari alternatif tersebut dibawah berberapa keriteria C dari pasangan keriteria C pada sekala rasio yang resiprok. $A_{ji} = 1/a_{ij}$ untuk semua $i, j \in A$.
2. Ketika membandingkan dua alternatif $i, j \in A$, pembuat keputusan jangan pernah membuat keputusan yang satu menjadi tidak terbatas dan lebih baik dari yang lain dibawah beberapa keriteria $C \in$; , $a_{ij} \neq \infty$ untuk semua $i, j \in A$.
3. Seseorang dapat memformulasikan suatu permasalahan keputusan kedalam bentuk hirarki. H menjadi sebuah bentuk hirariki dengan level L_1, L_2, \dots, L_h untuk masing-masing $L_k, k = 1, 2, \dots, h-1$
4. Semua kriteria dan alternatif yang memiliki pengaruh pada permasalahan keputusan direpresentasikan kedalam bentuk hirarki. Semua intuisi pembuat keputusan harus direpresentasikan kedalam kriteria dan alternatif, struktur dan diberi prioritas yang kompatibel dengan intuisi.

Saaty dan Vargas, (2012) menyatakan terdapat tujuh pokok dalam AHP yaitu : *ratio scale, paired comparison and scale, sensitivity of principle of eigenvector, clustering and scale, synthesis, rank reversal* dan *group decisions*. Langkah-langkah dalam metode AHP sebagai berikut :

1. Menentukan pokok prioritas permasalahan yang akan diselesaikan dengan metode AHP.
2. Melakukan perancangan (*design*) kuesioner.
3. Menentukan model struktur hirarki permasalahan.



Gambar 3. Contoh model struktur hirarki lengkap

4. Pendistribusian kuesioner responden ahli (*group decision maker*).

5. Memindahkan hasil penilaian (*judgment*) kedalam bentuk tabel matrik perbandingan.

Tabel 1. Matrik *pairwise comparison*

C	A_1	A_2	...	A_n
A_1	w_1/w_1	w_1/w_1	...	w_1/w_1
A_2	w_1/w_1	w_1/w_1	...	w_1/w_1
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
A_n	w_1/w_1	w_1/w_1	...	w_1/w_1

6. Melakukan perhitungan rataan *geomean* untuk hasil penilaian setiap level kriteria dan alternatif.

$$G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \dots x_n} \quad (1)$$

yang mana G adalah rata-rata *geometric*, sedangkan $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ merupakan penilaian 1,2,3 ...n, n adalah banyaknya penilaian.

7. Melakukan penyederhanaan matrik dengan pendekatan *aproximate*.

$$r_i = \sum_i a_{ij} \quad (2)$$

8. Melakukan perhitungan matrik normalisasi.

$$P_{ij} = \frac{r_i}{\sum_i r_i} \quad (3)$$

9. Melakukan perhitungan nilai *eige value* dan *eigen vector*.

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_1 & \dots & w_1 \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ w_2 & w_2 & \dots & w_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & w_n & \dots & w_n \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Menurut Saaty, (2007) nilai n atau λ_{max} diperoleh dengan cara $\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = \lambda_{max} W_i$ maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left[\sum_{i=1}^n a_{ij} \right] W_j \sum_{i=1}^n \lambda_{max} W_i = \lambda_{max} \quad (5)$$

10. Melakukan perhitungan konsistensi rasio (CR).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Menurut Saaty, (2007) nilai *random index* (RI) dapat dicari dengan rumus seperti dibawah ini :

$$R.I. = 1,98 \frac{n-2}{n} = 1,98 \left(1 - \frac{n-1}{n(n-1)/2} \right) \quad (7)$$

11. Melakukan perhitungan *priority vector* matrik *analytic hierarchy* process yang konsisten.

Apabila nilai CR kurang dari atau sama dengan $\leq 0,1$ maka, penilaian responden ahli (*group decision maker*) dianggap konsisten.

Perlu diketahui matrik AHP konsisten dengan vektor w maka elemen dalam matrik dapat ditulis :

$$A_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad \forall i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

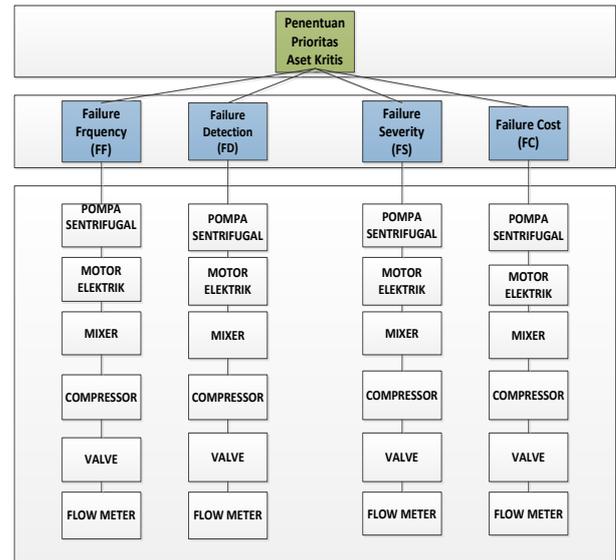
Jadi dapat disimpulkan bahwa matrik konsisten yaitu :

$$A_{ij} \cdot a_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \cdot \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik} \quad (10)$$

12. Menghitung matrik *global synthesis* yang meliputi kriteria dan alternatif.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengolahan data metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dengan melibatkan responden ahli (*group decision making*) PDAM XYZ maka ditetapkan 6 peralatan produksi yang diprioritaskan kedalam aset peralatan kritis yaitu pompa sentrifugal, motor *electric*, mixer, kompresor, valve dan flow meter. Peralatan tersebut dipilih dan dipertimbangkan berdasarkan data frekuensi kerusakan serta pertimbangan dari responden ahli. Kriteria yang digunakan yaitu *failure detection* (FD), *failure severity* (FS), *failure frequency* (FF) dan *failure cost* (FC).



Gambar 4. Model hirarki prioritas aset kritis PDAM XYZ

Gambar diatas menunjukkan model struktur hirarki permasalahan penentuan prioritas aset kritis peralatan produksi PDAM XYZ yang mana terdiri dari level tujuan (*goal*), kriteria dan alternatif.

Perhitungan AHP Level Kriteria

Level kriteria terdiri dari *failure frequency* (FF), *failure detection* (FD), *failure cost* (FC) dan *failure severity* (FS). Setelah mendapatkan hasil dari penilaian dari *group decision maker* maka selanjutnya adalah menyatukan penilaian responden ahli level kriteria dengan rumus *geomean* dan hasil diagregatkan sebagai berikut. Tabel dibawah ini menunjukkan bahwa kriteria FF 2 kali lebih penting dari FD, 3 kali lebih penting dari FS dan 3 kali lebih penting dari FC begitu seterusnya.

Table 2 . Hasil perhitungan gabungan (*geomean*)

Cij	Failure Frequency	Failure Detection	Failure Severity	Failure Cost
Failure Frequency	1	2	3	3
Failure Detection	1/2	1	1	3
Failure Severity	1/3	1	1	1
Failure Cost	1/3	1/3	1	1

Tabel dibawah ini adalah hasil dari perhitungan penyederhanaan matrik dari tabel 2.

Table 3. Hasil perhitungan matrik sederhana kriteria

Kriteria	Failure frequency	failure detection	Failure severity	failure cost
Failure frequency	1,00000	2,00000	3,00000	3,00000
failure detection	0,50000	1,00000	1,00000	3,00000
Failure severity	0,33333	1,00000	1,00000	1,00000
failure cost	0,33333	0,33333	1,00000	1,00000
Σ	2,16667	4,33333	6,00000	8,00000

Tabel dibawah ini merupakan hasil perhitungan nilai normalisasi dan *eigen vector* AHP level kriteria yang

mana (FF) 0,449519, (FD) 0,250801, (FS) 0,169071 dan (FC) 0,130609.

Tabel 4. Hasil perhitungan normalisasi *eigen vector* kriteria

Kriteria	Failure frequency	failure detection	Failure severity	failure cost	Vektor Eigen
Failure frequency	0,461538	0,461538	0,500000	0,375000	0,449519
failure detection	0,230769	0,230769	0,166667	0,375000	0,250801
Failure severity	0,153846	0,230769	0,166667	0,125000	0,169071
failure cost	0,153846	0,076923	0,166667	0,125000	0,130609

Setelah nilai normalisasi dan *eigen vector* didapat kemudian menghitung nilai *eigen value*.

$$\lambda_{maksimum} = (2,16667 \times 0,449519) + (4,33333 \times 0,250801) + (6,00000 \times 0,16907) + (8,00000 \times 0,130609) = 4,12006$$

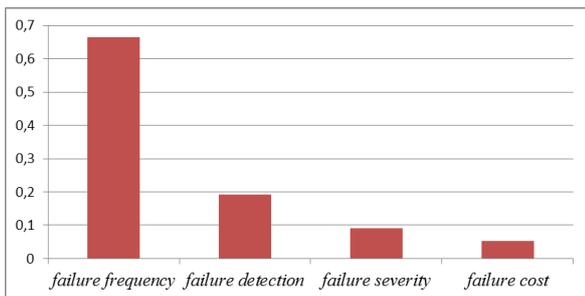
Melakukan perhitungan nilai konsistensi atau CI diketahui sebelumnya bahwa matrik dalam penelitian ini berordo empat yakni, terdiri dari empat kriteria. Maka diperoleh :

$$CI = \frac{\lambda_{maksimum} - n}{n - 1} = \frac{4,120058761 - 4}{4 - 1} = \frac{0,1201}{3} = 0,040020$$

$$R.I. = 1,98 \frac{n - 2}{n} = 0,990$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,040020}{0,99} = 0,04042 \text{ (konsisten)}$$

hasil perhitungan konsistensi rasio yang didapat kurang dari 0,1. Dapat ditarik kesimpulan penilaian responden ahli konsisten.



Gambar 5. Hasil *priority vector* Kriteria Failure

Maka dapat disimpulkan dari gambar diatas *priority vector* peringkat pertama kriteria *failure frequency* (FF) dengan nilai bobot 0,66257, kedua *failure detection* (FD) dengan nilai bobot 0,19204, ketiga *failure severity* (FS) 0,09048 dan yang terakhir *failure cost* (FC) dengan bobot 0,05219.

Perhitungan Level AHP alternatif

Berdasarkan perhitungan AHP penilaian gabungan dengan *geomean* pada level alternatif meliputi pompa sentrifugal, motor *electric*, *mixer*, kompresor dan *flow meter* maka hasil agregat perhitungan alternatif dengan mempertimbangkan *failure frequency* (FF) sebagai berikut :

Dapat dilihat pada tabel 5 motor *electric* ½ lebih penting dari *mixer*, 2 kali lebih penting dari *valve* dan 3 kali lebih penting dari *flow meter*.

Tabel 5. Hasil penilaian gabungan *geomean* alternatif (FF)

C	PS	ML	MX	CPR	VLV	FM
PS	1	2	1	1	3	2
ML	1/2	1	½	1	2	3
MX	1	2	1	1	2	4
CPR	1/1	1	1/1	1	2	3
VLV	1/3	1/2	½	1/2	1	2
FM	½	1/3	¼	1/3	½	1

Tabel dibawah ini merupakan hasil perhitungan penyederhanaan matrik penilaian gabungan level alternatif yang mempertimbangkan (FF).

Tabel 6. Hasil perhitungan matrik sederhana (FF)

C	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM
PS	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	3,0000	2,0000
ML	0,5000	1,0000	0,5000	1,0000	2,0000	3,0000
MX	1,0000	2,0000	1,0000	1,0000	2,0000	4,0000
CPR	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000	3,0000
VLV	0,3333	0,5000	0,5000	0,5000	1,0000	2,0000
FM	0,5000	0,3333	0,2500	0,3333	0,5000	1,0000

Tabel dibawah ini merupakan hasil perhitungan nilai normalisasi dan *eigen vector* AHP level alternatif yang mempertimbangkan (FF) yang mana pompa sentrifugal 0,23078, motor *electric* 0,16279, *mixer* 0,23713, kompresor 0,20163, *valve* 0,09996, *flow meter* 0,06771

Tabel 7. Hasil perhitungan matrik normalisasi dan *eigen vector* alternatif (FF)

Cij	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM	Vektor Eigen
PS	0,23077	0,29268	0,23529	0,20690	0,28571	0,13333	0,23078
ME	0,11538	0,14634	0,11765	0,20690	0,19048	0,20000	0,16279
MX	0,23077	0,29268	0,23529	0,20690	0,19048	0,26667	0,23713
CPR	0,23077	0,14634	0,23529	0,20690	0,19048	0,20000	0,20163
VLV	0,07692	0,07317	0,11765	0,10345	0,09524	0,13333	0,09996
FM	0,11538	0,04878	0,05882	0,06897	0,04762	0,06667	0,06771

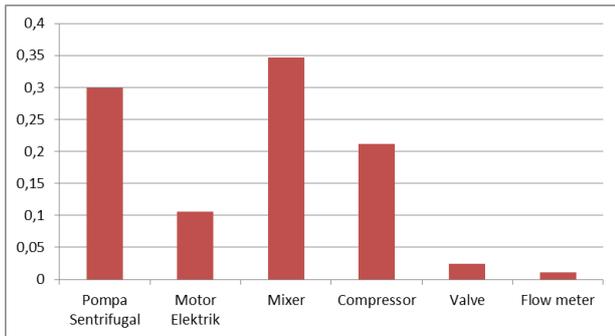
Setelah mendapatkan nilai normalisasi dan *eigen vector* maka selanjutnya menghitung *n eigen value* yang hasilnya berikut ini :

$$\lambda_{maksimum} = (4,3333 \times 0,23078) + (6,8333 \times 0,16279) + (4,3333 \times 0,23713) + (4,8333 \times 0,20163) + (10,5000 \times 0,0996) + (15,0000 \times 0,06771) = 6,15999$$

$$CI = \frac{\lambda_{maksimum} - n}{n - 1} = \frac{6,15999 - 6}{5} = \frac{0,15999}{5} = 0,0319979$$

$$R.I. = 1,98 \frac{n - 2}{n} = 1,32$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,0319979}{1,32} = 0,02424 \text{ (konsisten)}$$



Gambar 6. Hasil *priority vector* alternatif pada (FF)

Hasil perhitungan *priority vector* level alternatif dengan mempertimbangkan kriteria *failure frequency* (FF) menunjukkan *mixer* memiliki nilai bobot 0,3463, pompa sentrifugal 0,2988, kompresor 0,2120, motor *electric* 0,10603, *valve* 0,02497 dan *flow meter* dengan nilai bobot 0,0107.

Hasil Perhitungan penilaian gabungan dengan *geomean* alternatif dengan mempertimbangkan kriteria *failure Detection* (FD) yang diagregatkan sebagai berikut ini.

Tabel 8. Tabel hasil perhitungan *geomean* alternatif (FD)

Cij	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM
PS	1	1	2	2	3	1
ME	1	1	2	1	3	2
MX	½	½	1	1	4	2
CPR	½	1	1	1	2	2
VLV	1/3	1/3	¼	¼	1	1
FM	1	½	½	½	1	1

Tabel dibawah ini merupakan hasil perhitungan penyederhanaan matrik penilaian gabungan level alternatif yang mempertimbangkan (FD).

Tabel 9. Hasil perhitungan matrik sederhana alternatif pada (FD)

C	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM
PS	1,00000	1,00000	2,00000	2,00000	3,00000	1,00000
ME	1,00000	1,00000	2,00000	1,00000	3,00000	2,00000
MX	0,50000	0,50000	1,00000	1,00000	4,00000	2,00000
CPR	0,50000	1,00000	1,00000	1,00000	2,00000	2,00000
VLV	0,33333	0,33333	0,25000	0,25000	1,00000	1,00000
FM	1,00000	0,50000	0,50000	0,50000	1,00000	1,00000
Σ	4,33333	4,33333	6,75000	6,00000	14,00000	9,00000

Tabel dibawah ini merupakan hasil perhitungan normalisasi dan nilai *eigen vector* AHP level alternatif yang mempertimbangkan (FD).

Tabel 10. Hasil perhitungan matrik normalisasi dan *eigen vector* alternatif pada (FD)

Cij	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM	Vektor Eigen
PS	0,2308	0,2308	0,2963	0,3333	0,2143	0,1111	0,2361
ME	0,2308	0,2308	0,2963	0,1667	0,2143	0,2222	0,2268
MX	0,1154	0,1154	0,1481	0,1667	0,2857	0,2222	0,1756
CPR	0,1154	0,2308	0,1481	0,1667	0,1429	0,2222	0,1710
VLV	0,0769	0,0769	0,0370	0,0833	0,0714	0,1111	0,0761
FM	0,2308	0,1154	0,0741	0,0833	0,0714	0,1111	0,1144

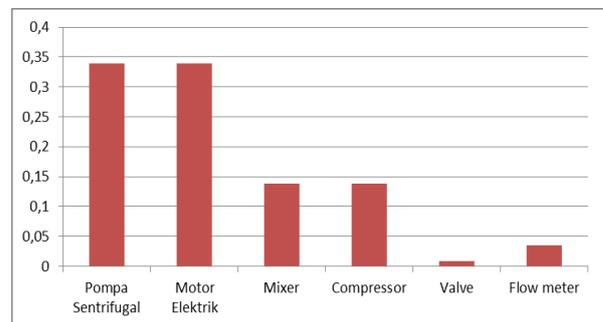
Setelah sebelumnya mendapatkan hasil penilaian matrik normalisasi dan *eigen vector* maka berikutnya adalah menghitung nilai *n* maksimum (*eigen value*).

$$\lambda_{maksimum} = (4,3333 \times 0,23609) + (4,3333 \times 0,22683) \times (6,75000 \times 0,17599) + (5,75000 \times 0,17101) + (14,0000 \times 0,07613) + (9,0000 \times 0,11435) = 6,31220$$

$$CI = \frac{\lambda_{maksimum} - n}{n - 1} = \frac{6,31220 - 6}{5} = \frac{0,31220}{5} = 0,06244$$

$$R.I. = 1,98 \frac{n - 2}{n} = 1,32$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,06244}{1,32} = 0,04730 \text{ (konsisten)}$$



Gambar 7. *Priority vector* alternatif pada (FD)

hasil perhitungan *priority vector* level alternatif gambar 7 diatas dengan mempertimbangkan kriteria *failure detection* (FD) maka nilai tertinggi adalah pompa sentrifugal dengan nilai bobot 0,3398 nilai ini sama dengan motor *electric* 0,3398, *mixer* dan kompresor bernilai 0,1387, *valve* 0,0346 dan *flow meter* 0,00816.

Hasil Perhitungan penilaian gabungan responden dengan *geomean* level alternatif dengan mempertimbangkan kriteria *failure severity* (FS) sebagai berikut ini. Menunjukkan bahwa hasil agregat pompa sentrifugal 1 kali lebih penting dari *motor electric*, 4 kali dari *mixer*, 3 kali dari kompresor, 3 kali dari *valve* dan 2 kali dari *flow meter*.

Tabel 11. Hasil perhitungan *geomean* (FS)

Cij	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM
PS	1	1	4	3	3	2
ME	1	1	2	2	2	2
MX	¼	1/2	1	¼	3	1
CPR	1/3	1/2	4	1	2	2
VLV	1/3	1/2	1/3	½	1	1
FM	½	1/2	1	½	1	1

Tabel dibawah ini merupakan hasil perhitungan penyederhanaan matrik dari penilaian gabungan level alternatif yang mempertimbangkan (FS).

Tabel 12. Hasil perhitungan matrik sederhana alternatif pada (FS)

C	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM
PS	1,0000	1,0000	4,0000	3,0000	3,0000	2,0000
ME	1,0000	1,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
MX	0,2500	0,5000	1,0000	0,2500	3,0000	1,0000
CPR	0,3333	0,5000	4,0000	1,0000	2,0000	2,0000
VLV	0,3333	0,5000	0,3333	0,5000	1,0000	1,0000
FM	0,5000	0,5000	1,0000	0,5000	1,0000	1,0000
Σ	3,4167	4,0000	11,3333	7,2000	12,0000	9,0000

Tabel dibawah ini merupakan hasil perhitungan matrik normalisasi dan nilai *eigen vector* AHP level alternatif yang mempertimbangkan (FS).

Tabel 13. Hasil perhitungan matrik normalisasi dan *eigen vector* alternatif pada (FS)

C	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM	Vektor Eigen
PS	0,2927	0,2500	0,3529	0,4167	0,2500	0,2222	0,2962
ME	0,2927	0,2500	0,1765	0,2778	0,1667	0,2222	0,2301
MX	0,0732	0,1250	0,0882	0,0278	0,2500	0,1111	0,1155
CPR	0,0976	0,1250	0,2647	0,1389	0,1667	0,2222	0,1688
VLV	0,0976	0,1250	0,0294	0,0694	0,0833	0,1111	0,0858
FM	0,1463	0,1250	0,0882	0,0694	0,0833	0,1111	0,1037

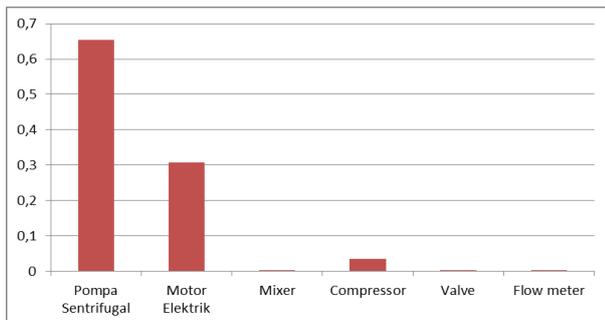
Tabel diatas merupakan hasil perhitungan normalisasi dan *eigen vector* pada level alternatif (FS). Selanjutnya menghitung *n* maksimum (*eigen value*) yang hasilnya berikut ini.

$$\lambda_{maksimum} = (3,4167 \times 0,2962) + (4,000 \times 0,2301) + (11,333 \times 0,1155) + (7,2000 \times 0,1688) + (12,000 \times 0,0858) + (9,0000 \times 0,1037) = 6,44135$$

$$CI = \frac{\lambda_{maksimum} - n}{n - 1} = \frac{6,44135 - 6}{5} = \frac{0,44135}{5} = 0,08827$$

Untuk $n = 6$, maka $R.I. = 1,98 \frac{n-2}{n} = 1,32$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,080118697}{1,32} = 0,066872 \text{ (konsisten)}$$



Gambar 8. Priority vector alternatif pada (FS)

Dari hasil perhitungan *priority vector* alternatif dengan mempertimbangkan kriteria *failure severity* (FS) pompa sentrifugal bernilai 0,6542, motor *electric*

0,3083, kompresor 0,0342, *mixer* 0,00120, *flow meter* 0,001606 dan *valve* 0,000355.

Perhitungan penilaian gabungan *group decision maker* yang diagregatkan alternatif dengan mempertimbangkan kriteria *failure cost* (FC) sebagai berikut ini.

Tabel 14. Hasil perhitungan *geomean* (FC)

C	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM
PS	1	2	4	3	3	2
ME	1/2	1	3	3	1	2
MX	1/4	1/3	1	1	1	2
CPR	1/3	1/3	1	1	1	1
VLV	1/3	1	1	1	1	1
FM	1/2	1/2	1/2	1	1	1

Tabel dibawah ini merupakan hasil perhitungan penyederhanaan matrik penilaian gabungan level alternatif yang mempertimbangkan (FC).

Tabel 15. Hasil perhitungan matrik sederhana alternatif pada (FC)

C	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM
PS	1,0000	2,0000	4,0000	3,0000	3,0000	2,0000
ME	0,5000	1,0000	3,0000	3,0000	1,0000	2,0000
MX	0,2500	0,3333	1,0000	1,0000	1,0000	2,0000
CPR	0,3333	0,3333	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
VLV	0,3333	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
FM	0,5000	0,5000	0,5000	1,0000	1,0000	1,0000
Σ	2,9167	5,1667	10,5000	10,0000	8,0000	9,0000

Tabel dibawah ini merupakan hasil perhitungan matrik normalisasi dan nilai *eigen vector* AHP level alternatif yang mempertimbangkan (FC).

Tabel 16. Hasil perhitungan matrik normalisasi dan *eigen vector* alternatif pada (FC)

C	PS	ME	MX	CPR	VLV	FM	Vektor Eigen
PS	0,34286	0,38710	0,38095	0,30000	0,37500	0,22222	0,33469
ME	0,17143	0,19355	0,28571	0,30000	0,12500	0,22222	0,21632
MX	0,08571	0,06452	0,09524	0,10000	0,12500	0,22222	0,11545
CPR	0,11429	0,06452	0,09524	0,10000	0,12500	0,11111	0,10169
VLV	0,11429	0,19355	0,09524	0,10000	0,12500	0,11111	0,12320
FM	0,17143	0,09677	0,04762	0,10000	0,12500	0,11111	0,10866

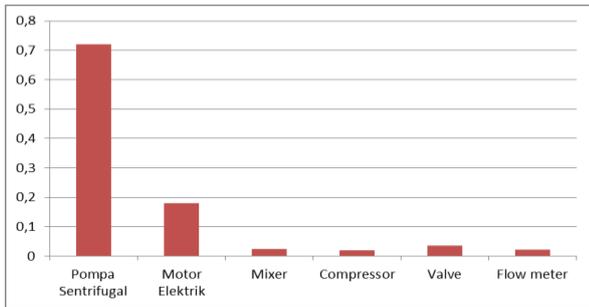
Berikutnya adalah menghitung nilai *eigen value* (λ maksimum) yang didapat dengan cara menjumlahkan hasil perkalian jumlah kolom dengan *vector eigen*. Hasilnya sebagai berikut ini (dengan fungsi *excel*).

$$\lambda_{maksimum} = (2,9167 \times 0,33469) + (5,1667 \times 0,21632) + (10,5000 \times 0,11545) + (10,0000 \times 0,10169) + (8,0000 \times 0,12320) + (9,0000 \times 0,10866) = 6,28642562$$

$$CI = \frac{\lambda_{maksimum} - n}{n - 1} = \frac{6,28642562 - 6}{5} = \frac{0,28642562}{5} = 0,05728512$$

Untuk $n = 6$, maka $R.I. = 1,98 \frac{n-2}{n} = 1,32$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,05728512}{1,24} = 0,043397821 \text{ (konsisten)}$$



Gambar 9. Priority vector alternatif pada (FC)

Hasil perhitungan *priority vector* alternatif dengan mempertimbangkan kriteria *failure cost* (FC) pompa sentrifugal bernilai 0,7197, motor *electric* 0,1799, *valve* 0,03460, kompresor 0,01996, *flow meter* 0,02120 dan *mixer* 0,02447.

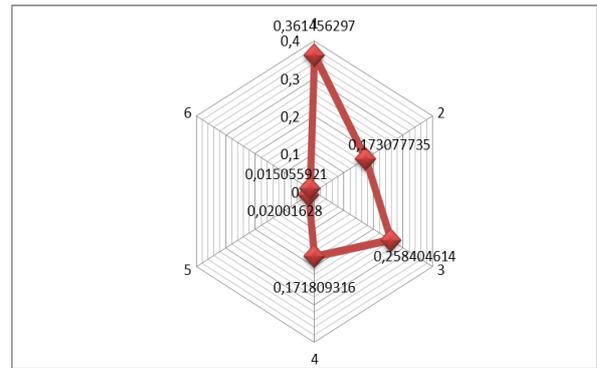
Setelah melakukan seluruh perhitungan alternatif terhadap empat kriteria yang sudah ditetapkan dalam model *analytic hierarchy process* (AHP) yang meliputi *failure frequency* (FF), *failure detection* (FD), *failure severity* (FS) dan *failure cost* (FC) tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan nilai vektor prioritas maka akan diperoleh bentuk matriksnya sebagai berikut ini.

Tabel 17. Hasil prioritas keseluruhan kriteria alternatif

C_{ij}	Failure Frequency	Failure Detection	Failure Severity	Failure Cost
Pompa Sentrifugal	0,2998	0,3398	0,6542	0,7197
Motor Elektrik	0,10603	0,3398	0,3083	0,1799
Mixer	0,3463	0,1387	0,0012	0,02447
Compressor	0,212	0,1387	0,0342	0,01996
Valve	0,02497	0,00816	0,00035	0,0346
Flow Meter	0,0107	0,0346	0,00160	0,0212

Kemudian mencari nilai total ranking dari masing-masing alternatif dari prioritas aset peralatan proses produksi PDAM XYZ dengan mengalikan bobot prioritas alternatif dengan bobot kriteria sehingga dapat diketahui keputusan penentuan prioritas aset peralatan produksi yang sudah ditetapkan sebelumnya.

$$\begin{bmatrix} 0,2998 & 0,3398 & 0,6542 & 0,7197 \\ 0,10603 & 0,3398 & 0,3083 & 0,1799 \\ 0,3463 & 0,1387 & 0,0012 & 0,02447 \\ 0,212 & 0,1387 & 0,0342 & 0,01996 \\ 0,02497 & 0,00816 & 0,00035 & 0,0346 \\ 0,0107 & 0,0346 & 0,00160 & 0,0212 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,66527 \\ 0,19204 \\ 0,09048 \\ 0,05219 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,361456 \\ 0,173078 \\ 0,258405 \\ 0,171809 \\ 0,020016 \\ 0,015056 \end{bmatrix}$$



Gambar 10. Diagram radar *global synthesis* prioritas aset peralatan kritis PDAM XYZ

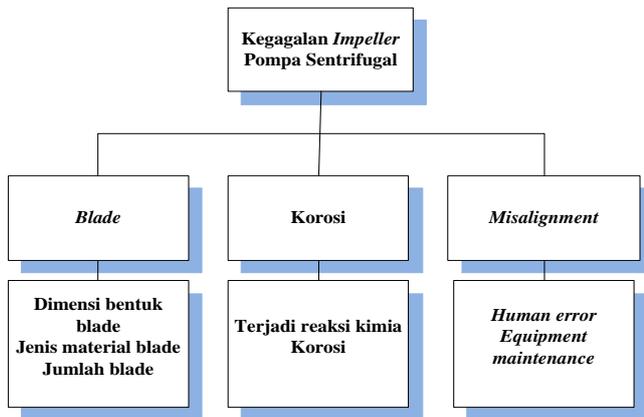
Diagram radar diatas menunjukkan bahwa salah satu aset peralatan proses produksi PDAM XYZ yaitu pompa sentrifugal dengan melibatkan empat kriteria *failure* memiliki bobot yang paling besar yaitu pompa sentrifugal 0,361456 atau 36,146% dan pada ranking yang kedua adalah *mixer* yang memiliki nilai bobot 0,258405 atau 25,841% yang signifikan dengan pompa sentrifugal, untuk ranking yang ketiga adalah motor *electric* dengan nilai bobot berjumlah 0,173078 atau 17,308%, berikutnya adalah *compressor* dengan nilai bobot 0,171809 atau 17,181%, *valve* dengan bobot nilai 0,020016 atau 2,0016% dan yang terakhir adalah *flow meter* berbobot 0,015056 atau 1,506%.

Tabel 18. Hasil ranking aset prioritas PDAM XYZ

No	Aset	Nilai Bobot
1.	Pompa Sentrifugal	0,361456
2.	Mixer	0,258405
3.	Motor Elektrik	0,173078
4.	Compressor	0,171809
5.	Valve	0,020016
6.	Flow Meter	0,015056

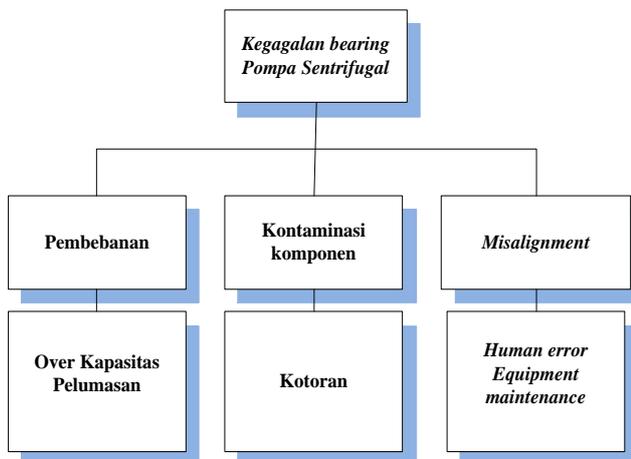
Analisa Konfigurasi *Failure* Prioritas Aset Kritis

Pompa yang digunakan dalam proses produksi air bersih PDAM XYZ antaranya *negative suction pump*, *positive displacement pump* dan *centrifugal pump*. Pompa sentrifugal merupakan peralatan penting karena digunakan untuk mengalirkan air baku dan distribusi air bersih. Hasil perhitungan dengan mempertimbangkan kriteria *failure frequency* (FF), *failure detection* (FD), *failure severity* (FS) dan *failure cost* (FC) pompa sentrifugal merupakan prioritas pertama aset peralatan kritis dengan nilai 0,361456 atau 36,1456%. Jumlah kerusakan pompa sentrifugal pada tahun 2017 sangat tinggi. Komponen penting pompa sentrifugal meliputi *impeller*, *casing*, poros atau *shaft*, motor *electric*, *blade*, *ring*, *packing*, *bearing*. Kegagalan atau kerusakan *impeller* meliputi *blade*, korosi, *misalignment* dan lain-lain.



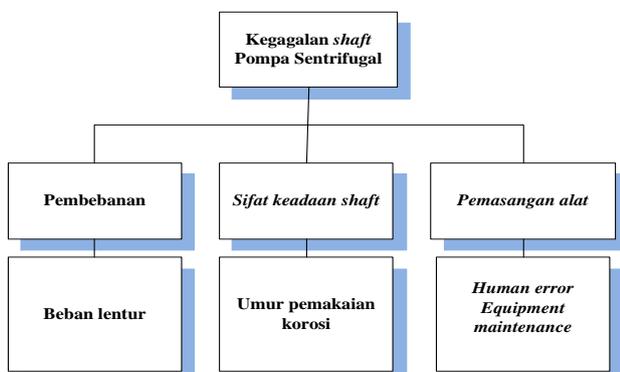
Gambar 11. Konfigurasi *failure impeller* pompa sentrifugal

Dapat dilihat dari skema sistem konfigurasi kerusakan pompa diatas bahwa elemen komponen penting *impeller* mengalami kerusakan pada dimensi, material dan jumlah *blade impeller*. Terjadinya korosi yang tinggi pada permukaan dan sering *misalignment*.



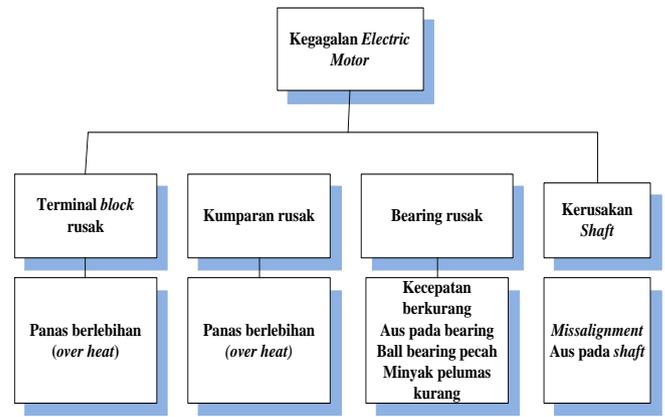
Gambar 12. Konfigurasi *failure Bearing* pompa sentrifugal

Diantaranya pembebanan, kontaminasi antar komponen dan *misalignment*.



Gambar 13. Konfigurasi *shaft* pompa sentrifugal

Diantaranya sifat keadaan *shaft* karena masa umur pemakaian, korosi dan perawatan dan sebagainya.



Gambar 14. Konfigurasi *failure motor electric*

Kesimpulan Penelitian

1. Berdasarkan hasil penelitian proses produksi air PDAM XYZ didapat enam peralatan produksi kritis yang dipertimbangkan kedalam penyesuaian aset prioritas berdasarkan analisa *failure equipment list* tahun 2017 dan pertimbangan *group decision making* yaitu pompa sentrifugal, motor *electric*, *mixer*, kompresor, *valve* dan *flow meter*.

2. Kriteria yang digunakan dalam penentuan prioritas peralatan aset kritis proses produksi PDAM XYZ *failure frequency* (FF), *failure detection* (FD), *failure severity* (FS), dan *failure cost* (FC).

3. Hasil perhitungan keseluruhan *global synthesis* kriteria dan alternatif keputusan (*group decision making*) dengan metode AHP menunjukkan pompa sentrifugal nilai prioritas 0,361456 atau 36,1456%, *mixer* 0,258405, atau 25,8405% motor *electric* 0,173078 atau 17,3078% kompresor 0,171809 atau 17,1809% *valve* 0,020016 atau 2,0016% dan *flow meter* 0,015056 atau 1,5056%.

4. Hasil analisa sistem konfigurasi kegagalan komponen *impeller* pompa sentrifugal antaranya terjadi kerusakan pada *blade*, korosi dan *misalignment*. *Bearing* mengalami pembebanan, kontaminasi komponen dan *misalignment*. *Shaft* mengalami korosi (umur pemakaian) dan *human error*. Motor *electric* mengalami kerusakan kumparan, *bearing* dan *shaft*.

5. Usulan strategi dan perbaikan perawatan prioritas aset peralatan kritis proses produksi PDAM XYZ dengan konfigurasi sistem kegagalan komponen untuk prioritas pertama pompa sentrifugal dengan menerapkan strategi *preventive maintenance*. Pompa sentrifugal terbagi menjadi empat yaitu *daily maintenance*, *weekly maintenance*, *semianual maintenance* dan *quality maintenance*.

Prioritas kedua adalah *mixer* Strategi perawatan *preventive maintenance once per shift*, *once per day maintenance*, *once per month* dan *every six month*.

Prioritas ketiga adalah motor *electric*. Strategi perawatan *preventive maintenance every week*, *every six month maintenance* dan *once year maintenance*.

Prioritas keempat adalah kompresor. Kerusakan kompresor PDAM XYZ adalah *V-belt* putus, korosi dan *over heating*. Kondisi dikarenakan operasi kompresor kurang lebih selama 24 jam kompresor PDAM XYZ berjumlah 2 disarankan untuk menambah jumlah kompresor.

Prioritas kelima adalah *valve*. Usulan strategi perawatan *valve* dengan menerapkan *routine maintenance*, melakukan penggantian. Prioritas keenam *flow meter*. Usulan strateginya dengan *priodic maintenance*, pembongkaran dan *replacement*.

Daftar Pustaka

- [1] Ben-daya, Kumar. Kumar, U.dan Murthy Prabhakar. 2016. *Introduction to Maintenance Engineering: Modeling, Optimization and Management*. United Kingdom : Jhon Wiley and Sons, Ltd.
- [2] Saaty L,T. 2007. *Decision Making and Priority Theory with Analytic Hierarchy Process*. New Jersey : RWS Publication.
- [3] Hastings, A.J. 2014. *Physical Asset Management*. Newyork : Springer Dordrecht Heidelbergh.
- [4] Smith dan Mobley Keith, R. *Rule of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*. Jordan Hill, Oxford : Elsevier Inc.
- [5] NORZOK STANDART. 2001. November. *Criticality Analysis for Maintenance Purpose*. https://www.standart.no/en/sectors/energi_og_klima/petrolium_norzok_criticality_z-0082.htm.
- [6] AIOCHE (American Institute of Chemical Engineers).2017. *Guidline for Asset Integrity Management*. Newjersey : Jhon Wiley and Son, Ltd.
- [7] Narayan, V. 2004. *Effective Maintenance Management : Risk and Reliability Strategies for Optimizing Performance*. Newyork : Industrial Press.
- [8] Marquez, Crespo Adolfo. 2007. *The Maintenance Management Framework : Model and Method for Complex Maintenance*. London : Springer Ver-lag.
- [9] Forman Ernest. 2002. *Decision by Object : How to Confince Others that You're Right*. USA : world scientific publishing, Ltd.
- [10] Saaty L,T dan Vargas. 2012. *Models, Methods and Concept Applications of Analytic Hierarchy Process*. Springer.

Biografi

Peneliti memulai pendidikan formal di Madrasah Ibtidaiyah Mis Imadudin Sungai Raya Dalam kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di Madrasah Tsanawiyah Mambaul Ulum kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di Madrasah Aliyah Mambaul Ulum Kampung Baru Simpang Kanan Kecamatan Sungai Ambawang, Kabupaten Kubu Raya kemudian peneliti melanjutkan pendidikan perguruan tinggi pada tahun 2012 dan diterima menjadi mahasiswa Universitas Tanjungpura pada program studi Teknik Industri dan lulus strata 1 (S1) pada tahun 2019.