

ANALISIS MUTU AIR DENGAN PENDEKATAN *SIX SIGMA* UNTUK PENINGKATAN MUTU PLAT BAJA

Analysis of Water Quality With Six Sigma Approach for Improving Quality Steel Plat

Afni Khadijah¹, Muantulloh², Erni Krisnaningsih³ dan Ellia Kristiningrum⁴

^{1,2} Teknik Industri Universitas Banten Jaya, Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kota Serang, Banten 42117, Indonesia

³ Politeknik Pisi Input Serang, Jln. Trip Jamaksari, Sumur Pecung, Kota Serang, Banten 42118, Indonesia

⁴ Puslitbang Badan Standardisasi Nasional, Gd.1 BPPT Jl. MH Thamrin, Jakarta Pusat

e-mail: afni.khadijah@yahoo.com

Diterima: 20 November 2017, Direvisi: 15 Desember 2017, Disetujui: 18 Desember 2017

Abstrak

Baja yang digunakan sebagai bahan baku pada proses manufaktur dan konstruksi dituntut memiliki kualitas yang baik. Pada proses produksi, untuk menghasilkan baja dengan kualitas baik masih terdapat beberapa masalah yang timbul, salah satu penyebabnya adalah penurunan kualitas air. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa faktor yang mempengaruhi kualitas air dalam produksi plat baja, serta strategi pengendaliannya. Metode yang digunakan adalah *six sigma* dan *seven tools*. Beberapa faktor yang mempengaruhi faktor kualitas air seperti adalah pH, Cl, *Turbidity*, SS, Fe, m-Al, Ca-H, PO₄. Hasil analisa data menunjukkan bahwa *turbidity* dapat menyebabkan terbawanya partikel kerak besi dari air sehingga akan menyebabkan cacat pada permukaan plat. Faktor kualitas lainnya seperti pH juga berdampak pada tingkat korosifitas mesin dan perpipaan berbahan besi, semakin asam atau basa suatu larutan maka tingkat korosifitas semakin kuat. Berdasarkan pengujian sampel air diperoleh data parameter *turbidity* mengalami penyimpangan paling besar dibandingkan dengan parameter lain sehingga penanganan pada parameter ini harus diprioritaskan. Semakin besar nilai *turbidity* maka semakin besar potensi terbawa partikel kerak besi yang mengakibatkan terjadinya penumpukan dan penyumbatan pada pipa. Berdasarkan analisis pengendalian kualitas menggunakan *six sigma* diperoleh nilai RPN suplai air yang kotor sebesar 579, nilai RPN *turbidity* sebesar 512, nilai RPN pH sebesar 448, nilai RPN Fe sebesar 392 dan nilai RPN Alat penyaringan/filter air tidak menyaring secara optimal sebesar 336.

Kata kunci: kualitas air, baja, *six sigma*, *seven tools*.

Abstract

Nowadays, steel needs in the industrial and housing sectors are the most fundamental needs. Steel is used as raw material in manufacturing and construction processes so that good quality steel is required. In the production process to produce good quality steel there are still some problems that arise one cause of the quality of steel due to water quality degradation. Six sigma method is used for water quality control and seven tools method is used to analyze the factors causing water quality decrease. Several factors affect water quality factors such as pH, Cl, Turbidity, SS, Fe, m-Al, Ca-H, PO₄. After the data is analyzed it is known that turbidity can cause the carrying of iron particles from the water so that will cause defects on the surface of the plate. Other quality factors such as pH have an impact on the level of engine corrosivity and steel piping. The more acidic or alkaline a solution the higher the corrosive level. Based on testing of water samples obtained turbidity parameter data experienced the largest deviation compared with other parameters so that handling on this parameter should be prioritized. The greater the value of turbidity, the greater the potential carrying iron crust particles that resulted in the buildup and blockage of the pipe. Based on analysis of quality control using six sigma obtained RPN value of dirty water supply equal to 579, RPN turbidity value 512, RPN pH value equal to 448, RPN Fe value 392 and RPN value Filter tool / filter water does not filter optimally equal to 336.

Keywords: water quality, steel, *six sigma*, *seven tools*.

1. PENDAHULUAN

Air pada sektor industri memiliki peranan penting, baik untuk proses produksi maupun sebagai proses penunjang. Banyak pengguna industri yang menggunakan air, sebagai pembangkit listrik, pendingin atau sumber energi, hingga sebagai pelarut. Air yang digunakan untuk proses penunjang pada industri, biasanya dimanfaatkan

untuk proses pertukaran panas di *heat exchanger*, sistem pelumasan dan sistem hidrolik.

Industri baja, sebagai bagian dari industri logam dasar yang termasuk dalam industri hulu, merupakan salah satu industri strategis di Indonesia. Sektor ini memainkan peran utama dalam memasok bahan-bahan baku vital untuk pembangunan di berbagai bidang mulai dari

penyediaan infrastruktur (gedung, jalan, jembatan, jaringan listrik dan telekomunikasi), produksi barang modal (mesin pabrik dan material pendukung serta suku cadangnya), alat transportasi (kapal laut, kereta api beserta relnya dan otomotif), hingga persenjataan. (Kementerian Perindustrian, 2014).

Salah satu produk industri baja adalah plat. Plat adalah produk yang di buat dari hasil reduksi slab menggunakan proses *rolling*. Sebelum proses *rolling*, slab dipanaskan terlebih dahulu sampai temperatur yang sesuai disebuah alat yang bernama *Reheating Furnace*. Selama proses pemanasan berlangsung maka akan timbul kerak pada permukaan slab. Setelah proses pemanasan selesai maka kerak yang ada di slab kemudian di hilangkan menggunakan air bertekanan tinggi. hingga slab bisa direduksi atau ditipiskan pada proses *rolling*.

Selama proses *rolling*, dibutuhkan air yang berkualitas. Salah satu karakteristik air yang dibutuhkan adalah air yang tidak keruh. Standar kekeruhan air disebut standar *turbidity* dengan satuan NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). *Water turbidity* dijadikan parameter untuk menilai performa air dalam *water treatment plant* (Janna & Samawi, 2014). Kualitas air berhubungan dengan kandungan bahan terlarut yang menentukan kelayakannya. Turbidity atau kekeruhan adalah adanya partikel koloid atau suspensi dari suatu bahan pencemar yang tidak larut dalam air. (Damanik, 2011). Air dengan nilai *turbidity* yang tinggi akan membawa partikel-partikel kerak sehingga jika kandungan kerak ini menempel pada plat maka akan timbul cacat pada permukaan plat.

Manajemen mutu merupakan salah satu kunci sukses sebuah industri untuk memenangkan pasar. Pengendalian dan peningkatan mutu menjadi strategi bisnis penting bagi industri (Montgomery, 2009). Pentingnya pengendalian mutu kualitas air dalam industri baja, menyebabkan diperlukannya analisa faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air serta strategi pengendalian mutunya.

Tujuan penelitian ini adalah:

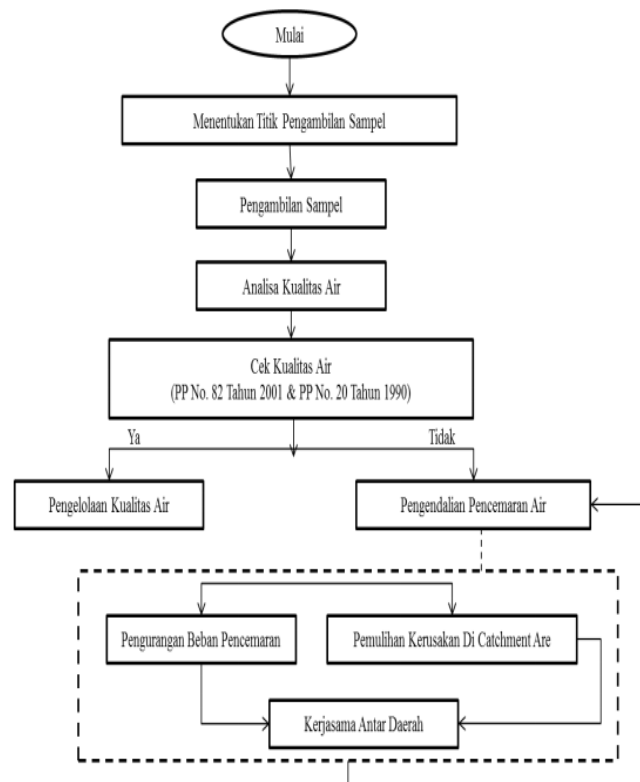
- a. Menganalisa faktor yang mempengaruhi kualitas air dalam produksi plat baja
- b. Menganalisa strategi pengendalian kualitas air.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengendalian Kualitas Air

Untuk mengendalikan kualitas air terlebih dahulu menentukan kelas/mutu air yang ditinjau sebagai patokan dalam menentukan alternatif yang

diambil sebagai upaya pengendalian kualitas air. Untuk menentukan pengendalian kualitas air dilakukan tahap/proses seperti Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Alir Pengendalian Kualitas Air.

2.2 Konsep Kualitas

Kemampuan laba besar sebuah perusahaan ditentukan oleh kuatnya penjualan dan biaya rendah pada keseluruhan operasional. Penjualan yang sehat secara luas ditentukan kualitas tinggi dan harga dapat diterima, akibatnya perbaikan kualitas dan reduksi biaya adalah diantara tugas paling penting untuk bisnis perusahaan. Sedangkan peran *Six sigma* disini adalah sebuah gelombang baru dari inisiatif sangat baik perusahaan dimana secara efektif memperbaiki 12 kualitas dan mereduksi biaya, sehingga menjadi perhatian bisnis dunia.

Lalu apa yang dimaksud kualitas? Jawaban apa kualitas itu sangat luas dan berbeda-beda menurut persepsi masing-masing, namun secara kasar dapat dikatakan 1. Kualitas adalah inheren atau karakteristik yang membedakan, sebuah derajat atau tingkat keunggulan, 2. Kualitas adalah totalitas karakteristik sebuah entitas yang terbawa pada kemampuannya untuk memenuhi kebutuhan

dimulai tersirat, 3. Kualitas adalah hal yang benar dan melakukan hal dengan benar sepanjang waktu. Bicara tentang kualitas tidak terlepas dari jaminan kualitas (*quality assurance*) dan servis/siklus hidup produk. *Quality assurance* didefinisikan sebagai semua aktivitas yang direncanakan dan sistematis diimplementasikan dalam sistem kualitas yang dapat memberikan keyakinan bahwa sebuah produk atau servis akan memenuhi persyaratan untuk kualitas.

3. METODE PENELITIAN

Proses pelaksanaan pengolahan data untuk analisis masalah menggunakan metode *seven tools*, kemudian untuk teknik pengendalian masalah menggunakan metode *six sigma* dan menggunakan *software* minitab.

Metode *seven tools* terdiri dari *stratification, histogram, check sheet (tally sheet), cause and effect diagram, pareto chart, scatter diagram, control chart*. Metode *seven tools* dan *six sigma* diharapkan dapat menampilkan deskripsi grafik yang menghasilkan jawaban dari faktor-faktor penentu kualitas. Dengan menggunakan metode tersebut, diharapkan juga dapat menentukan faktor apa yang paling dominan, sehingga dapat dirumuskan usulan perbaikan yang diprioritaskan yang didapatkan dari diagram pareto. Selain itu, juga dapat menentukan keterkaitan antara penyimpangan parameter dengan cacat yang dihasilkan.

Pada tahapan pengolahan data, rangkuman dan seleksi data didasarkan pada pokok permasalahan yang telah ditetapkan dan dirumuskan sebelum kegiatan penelitian berlangsung, yaitu faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air dalam industri baja.

3.1 Pengumpulan Data

a. Sampel air

Metode pertama pada penelitian ini menggunakan teknik pengambilan sampel air sebagai dasar pengumpulan data. Pengambilan sampel dilakukan terhadap air yang digunakan dalam proses penghilangan kerak pada slab, yang diambil di beberapa titik seperti *suction* pompa (tempat masuknya air menuju kedalam rumah pompa) dan *discharge* pompa (tempat keluarnya air setelah air dipompakan), sebanyak total 10 sampel. Media yang digunakan untuk mengambil sampel adalah botol.

b. Pengujian sampel

Setelah dilakukan sampling terhadap air industri kemudian dilakukan uji laboratorium. Hasil pengujian laboratorium yang berbentuk

parameter tersebut di jabarkan menggunakan tool manajemen kualitas dalam hal ini menggunakan *seven tools* dan menggunakan *six sigma* sebagai metode pengendaliannya.

3.2 Pengolahan Data

Setelah dilakukan uji lab maka diperoleh data kualitas air industri dengan menggunakan nilai – nilai parameter sebagai dasar penelitian di perusahaan produksi baja yang merujuk pada perusahaan induk yang diteliti yaitu pH 8-10, Cl <140, *Turbidity* <15, Fe <3, m-Al <130, Ca-H <180 dan PO₄ <12. Oleh karena itu, peneliti hanya menggunakan standar yang ada untuk keperluan penelitian di perusahaan produksi baja.

Tabel 2.1 Data Kualitas Air.

Parameter Sampel ke	pH	Cl	Turbidity	Suspended Solid (SS)	Fe	m-Al	Ca-H	PO ₄
	8-10	< 140	< 15		< 3	< 130	< 180	< 12
1	10,22	50,54	30,88	5,5	0,9	90,93	88,54	11,62
2	9,09	53,54	33,88	8,5	3,9	93,93	91,54	10,09
3	8,76	66,66	23,22	5,7	3,2	80,67	90,33	9,06
4	7,99	54,55	32,32	7,5	2,9	90,09	87,88	11,43
5	9,23	87,33	21,44	5,3	2,4	85,34	88,45	11,1
6	8,34	56,66	23,12	6,4	2,8	87,19	90,23	7,04
7	10,76	60,53	19,8	5,7	3	91,28	90,32	10,45
8	10,43	57,98	20,78	7,6	2,6	92,43	97,32	9,65
9	8,78	52,12	20,06	6,5	2,4	84,33	87,6	11,8
10	9,34	59,99	19,09	5,9	3,1	86,38	90,89	11,6

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis masalah menggunakan *seven tools*

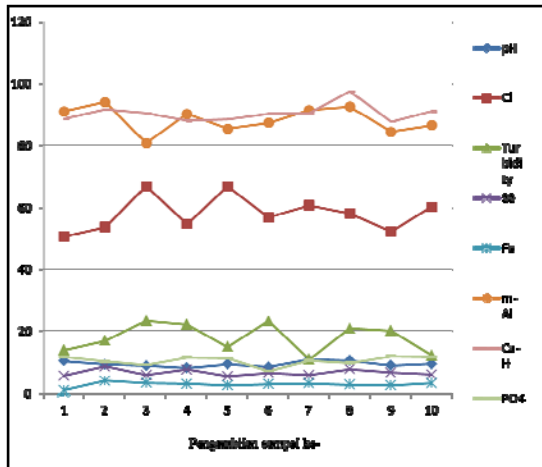
Hasil dan pembahasan analisis faktor-faktor kualitas air industri disajikan dalam metode *seven tools* berikut:

4.1.1 Stratification

Stratifikasi adalah metode membagi data menjadi subkategori dan mengklasifikasikan data berdasarkan kelompok, divisi, kelas atau tingkatan yang membantu menghasilkan informasi yang berarti untuk memahami masalah yang ada.

Hasil pengujian lab terhadap sampel air industri membuktikan bahwa terdapat beberapa unsur yang menjadi parameter kualitas air tersebut. Hasil pengujian menunjukkan parameter kualitas seperti pH, Cl, *Turbidity*, suspended solid (SS), Fe, m-Al, Ca-H dan PO₄.

Agar memudahkan dalam identifikasi setiap parameter tersebut, berikut adalah stratifikasi atau penggolongan parameter kualitas air industri dari hasil pengujian di laboratorium:



Gambar 3.1 Stratifikasi parameter kualitas air.

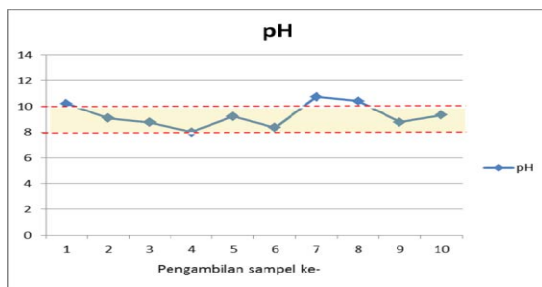
4.1.2 Peta kendali (control chart)

Peta kendali pada dasarnya adalah bagan statistik yang membantu dalam menentukan apakah suatu proses industri berada dalam kendali dan mampu memenuhi batasan spesifikasi yang ditentukan pelanggan.

Pada peta kendali terlihat adanya titik-titik parameter yang melampaui batas kontrol atas/BKA (*upper control limit/UPL*) dan batas kontrol bawah/BKB (*bottom control limit/BCL*). Nilai masing-masing parameter dapat disajikan pada grafik berikut:

a. pH

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Berikut nilai pH hasil pengujian sampel di laboratorium:



Gambar 3.2 Nilai pH.

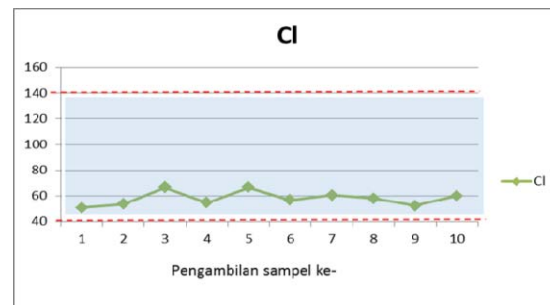
Pada grafik diatas terdapat tiga sampel yang melebihi batas kontrol atas. Sampel

pertama yang melebihi BKA sebesar 10,22, kemudian sampel ketujuh sebesar 10,76 dan sampel kedelapan sebesar 10,43. Nilai yang melebihi BKA harus dikendalikan atau diturunkan sehingga diperoleh nilai yang sesuai standar. Kenaikan nilai pH diatas dapat diatasi dengan metode pengenceran dengan cara menambahkan air bersih kedalam basin penampungan. Proses pengenceran akan menurunkan konsentrasi asam atau basa pada larutan.

b. Cl (Chlorin)

Chlorin adalah unsur yang umum di Bumi, tetapi tidak ditemukan secara alami dalam keadaan murni karena sangat reaktif dan cenderung membentuk senyawa dengan unsur-unsur lainnya. Sifat kimia Cl adalah sebagai disinfektan. Sebagai disinfektan, Klor dalam air harus diamati karena jika dalam konsentrasi yang berlebih klor dapat terikat pada senyawa organik dan membentuk senyawa yang bersifat karsinogenik.

Selama proses penggunaan air di *plate rolling*, hasil lab membuktikan bahwa nilai parameter Cl selalu berada pada nilai standar. Sehingga nilai Cl tidak berpengaruh pada kualitas mesin dan plat. Berikut nilai Cl hasil pengujian sampel di laboratorium.



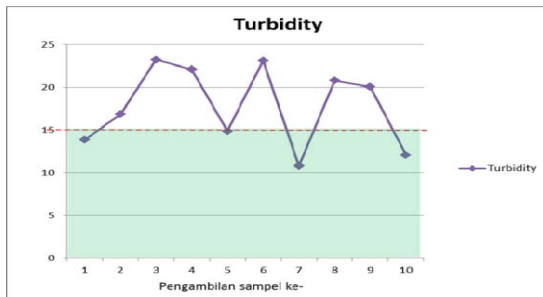
Gambar 3.3 Nilai Cl.

c. Turbidity

Turbidity adalah tingkat kekeruhan suatu larutan. Kekeruhan ini disebabkan oleh adanya benda tercampur atau benda koloid di dalam air. Hal ini membuat perbedaan nyata dari segi estetika maupun dari segi kualitas air itu sendiri.

Pada grafik diatas terdapat enam sampel yang melebihi batas kontrol atas. Hasil sampel kedua yang melebihi BKA sebesar 16,87 NTU (nephelometric turbidity unit), sampel ketiga sebesar 23,22 NTU, sampel keempat sebesar 22,09 NTU, sampel keenam 23,12 NTU, sampel kedelapan sebesar 20,78 NTU, dan sampel kesembilan sebesar 20,06 NTU.

Hal ini disebabkan oleh kandungan kerak besi yang terbawa pada air selama proses penghilangan kerak di permukaan slab. Kandungan kerak besi yang terbawa air tersebut akan menempel pada permukaan slab selama proses *descaler*. Media yang digunakan untuk proses penipisan slab di *rolling* adalah *work roll*. Pada proses penipisan itulah partikel kerak besi yang ada dipermukaan slab akan tergecet oleh *work roll* sehingga menimbulkan cacat pada plat. Berikut adalah nilai *turbidity* hasil pengukuran sampel air industri di laboratorium:



Gambar 3.4 Nilai turbidity.

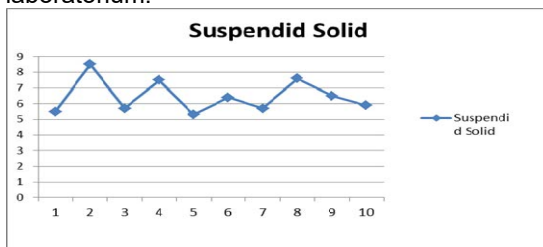
d. *Suspended Solid* (SS)

Suspended solid adalah total keseluruhan kotoran yang bersifat tampak dan tersuspensi dalam air. Mudah-mudahan kotoran ini terlihat seperti lumpur yang ada didalam air.



Gambar 3.5 Larutan *suspended solid*.

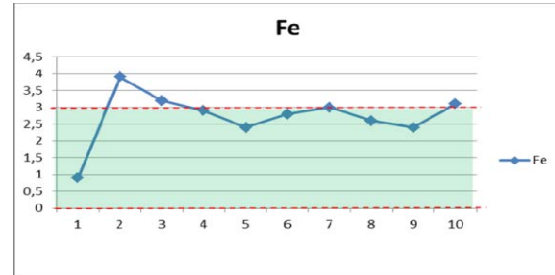
Di *plate rolling* tidak ada parameter khusus untuk *suspended solid* sehingga akibat dan besarnya nilai yang didapatkan tidak berpengaruh pada proses pembuatan plat. Berikut adalah nilai SS hasil pengujian sampel di laboratorium:



Gambar 3.6 Nilai *suspended solid*.

e. Fe

Fe adalah simbol kimia untuk unsur besi. Berikut adalah nilai kandungan unsur besi hasil pengujian di laboratorium:

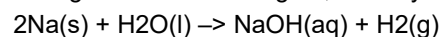


Gambar 3.7 Nilai kandungan unsur Fe di dalam air

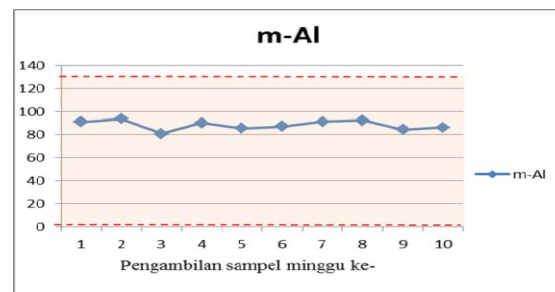
Pada grafik diatas terdapat tiga sampel yang melebihi BKA. asil Sampel kedua yang melebihi BKA sebesar 3,9 ppm, hasil sampel ketiga sebesar 3,3 ppm dan hasil sampel kesepuluh sebesar 3,1 ppm. Adanya kandungan Fe didalam air ditandai dengan adanya kerak besi dari hasil *descaler* atau pelepasan kerak dari permukaan slab. Kandungan partikel kerak besi yang terbawa di dalam air dapat menyebabkan cacat jika menempel di permukaan plat.

e. m-Al

Logam alkali atau m-Al (*metal alkali*) adalah kelompok unsur kimia pada golongan 1 tabel periodik, kecuali hidrogen. Kelompok ini terdiri dari litium (Li), natrium (Na), kalium (K), rubidium (Rb), sesium (Cs), dan fransium (Fr). Semua unsur pada kelompok ini sangat reaktif sehingga secara alami tak pernah ditemukan dalam bentuk tunggal. Semua logam alkali dapat bereaksi dengan air. Reaksinya melibatkan pergantian hidrogen dari air oleh logam, misalnya:



Karena hidroksida logam alkali bersifat basa kuat, maka nilai m-Al harus dikendalikan untuk menjaga pH larutan tetap stabil. Berikut adalah nilai m-Al hasil pengujian sampel di laboratorium:



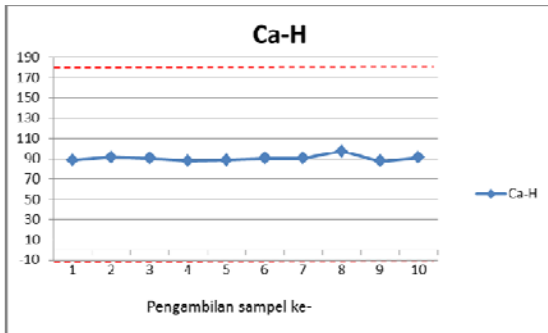
Gambar 3.8 Nilai m-Al.

f. Ca-H

Kesadahan (*hardness*) atau Ca-H adalah salah satu sifat kimia yang dimiliki oleh air. Penyebab air menjadi sadah adalah karena adanya ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} . Atau dapat juga disebabkan karena adanya ion-ion lain dari polyvalent metal (logam bervalensi banyak) seperti Al, Fe, Mn, Sr dan Zn dalam bentuk garam sulfat, klorida dan bikarbonat dalam jumlah kecil.

Kesadahan air adalah kemampuan air mengendapkan sabun, di mana sabun ini diendapkan oleh ion-ion yang saya sebutkan diatas. Karena penyebab dominan/utama kesadahan adalah Ca^{2+} dan Mg^{2+} , khususnya Ca^{2+} , maka arti dari kesadahan dibatasi sebagai sifat atau karakteristik air yang menggambarkan konsentrasi jumlah dari ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang dinyatakan sebagai $CaCO_3$.

Adapun nilai Ca-H hasil pengujian sampel air adalah sebagai berikut:



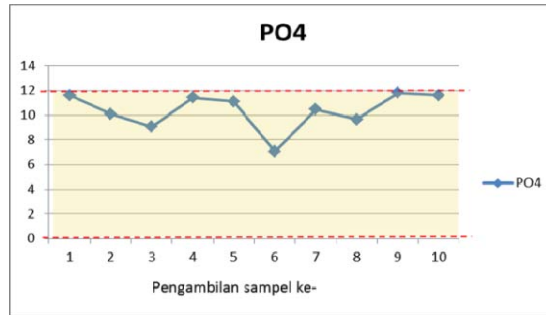
Gambar 3.9 Nilai kesadahan atau Ca-H.

g. PO_4

Phospat atau fosfat adalah sebuah ion poliatomik atau radikal terdiri dari satu atom fosforus dan empat oksigen. Dalam bentuk ionik, fosfat membawa sebuah -3 muatan formal, dan dinotasikan PO_4^{3-} .

Air yang mengandung fosfat berlebih akan terlihat lebih hijau dan jika dibiarkan terus menerus akan menyebabkan pertumbuhan ganggang dan lumut yang akan mengendap di basin penampungan dan di perpipaan.

Grafik dibawah adalah nilai sampel air yang telah dilakukan pengujian di laboratorium, pada grafik diatas terlihat bahwa nilai fosfat yang terkandung di air industri masih di batas normal.



Gambar 3.10 Nilai sampel fosfat.

4.1.3 Lembar Data (*Check Sheet*)

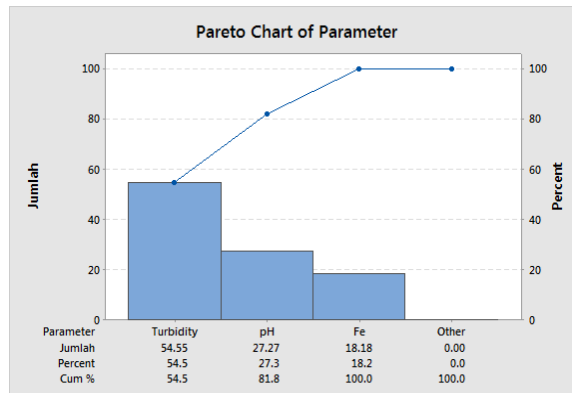
Penulisan lembar data dimaksudkan untuk mempermudah penulis dalam mengumpulkan data, sehingga data menjadi sistematis dan teratur. Lembar data pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui nilai kuantitatif data dari hasil pengujian sampel air.

Sebagaimana telah disebutkan diatas bahwa konten lembar data memuat parameter-parameter kualitas hasil pengujian sampel air industri seperti pH, Cl, *Turbidity*, *Suspended Solid (SS)*, Fe, m-Al, Ca-H dan PO_4 .

Pengambilan sampel dilakukan di dua titik yang berbeda. Pengambilan sampel pada titik pertama dilakukan di *manual valve suction pump* (valve manual sebelum pompa). Dan pengambilan sampel pada titik yang kedua dilakukan di *manual valve discharge pump* (valve manual setelah pompa).

4.1.4 Diagram Pareto

Tujuan dari *Pareto Chart* adalah untuk menyoroti faktor terpenting yang menjadi penyebab utama masalah atau kegagalan. Berikut ini adalah data parameter air industri yang disajikan dalam diagram pareto:



Gambar 3.11 Diagram Pareto parameter air industri.

Dari grafik diatas terlihat bahwa parameter *turbidity* mengalami penyimpangan terbesar dibandingkan dengan parameter yang lainnya. oleh karena itu pengendalian kualitas dapat dilakukan pada parameter *turbidity*, kemudian pH, kemudian Fe.

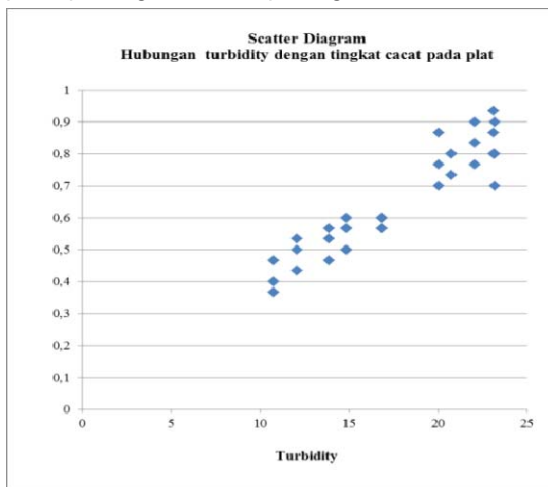
4.1.5 Histogram

Tujuan Histogram adalah mempelajari kepadatan data dalam distribusi tertentu dan memahami faktor atau data yang berulang lebih sering. Setelah dilakukan pengujian terhadap air industri di laboratorium, diperoleh parameter *turbidity* air dengan frekuensi terbesar yaitu sebanyak enam kali penyimpangan.

Untuk parameter pH air dengan frekuensi terbesar kedua sebanyak tiga kali dan parameter Fe air dengan frekuensi ketiga sebanyak 2 kali penyimpangan. Untuk menunjukkan data parameter yang menyimpang dengan frekuensi terbesar sampai terkecil dapat disajikan pada grafik histogram berikut:

4.1.6 Diagram Pencar (*Scatter Diagram*)

Tujuan *scatter diagram* adalah untuk menjalin hubungan antara masalah (overall effect) dan sebab-sebab yang mempengaruhi. Korelasi antara kualitas air *turbidity* dengan tingkat cacat pada plat digambarkan pada grafik berikut:



Gambar 3.14 Diagram korelasi antara kualitas air dan tingkat cacat pada plat.

Pada diagram pencar diatas terlihat adanya korelasi atau hubungan antara variabel *turbidity* dengan tingkat cacat yang muncul pada plat. pada diagram tersebut terlihat titik-titik yang mengindikasikan hubungan kuat positif diantara dua variabel. Apabila nilai *turbidity* meningkat maka tingkat munculnya cacat pada plat juga meningkat.

4.2 Pengendalian Kualitas Air Menggunakan Metode *Six sigma*.

Menurut Pete dan Holpp (2002 : 45 - 58), tahap-tahap implementasi peningkatan kualitas dengan *six sigma* terdiri dari lima langkah yaitu menggunakan metode DMAIC atau *Define, Measure, Analyse, Improve, dan Control*. Berikut implementasi tahapan-tahapan tersebut dalam penelitian.

4.2.1 Define

Pada tahapan ini dilakukan penetapan sasaran dari aktivitas peningkatan kualitas *six sigma*. Langkah ini untuk mendefinisikan rencana-rencana tindakan yang harus dilakukan untuk melaksanakan peningkatan dari setiap tahap proses bisnis kunci (Gaspersz, 2005: 322). Tanggung jawab dari definisi proses bisnis kunci berada pada manajemen.

1) Business Case

1. Mendirikan salah satu strategi *Plate Rolling Department* dibidang (*utility water treatment*/pengolahan air untuk menciptakan kualitas air proses yang bagus.
2. Pengembangan teknologi operasi dengan biaya rendah.

2) Improvement opportunity

1. Mengurangi penyimpangan parameter pada kualitas air sehingga menurunkan biaya (*repair*) perbaikan pada produk akibat cacat yang disebabkan oleh tidak bagusnya kualitas air proses.
2. Meningkatkan produk tanpa cacat yang disebabkan oleh kualitas air yang tidak bagus.

a. Proses Analisis SIPOC

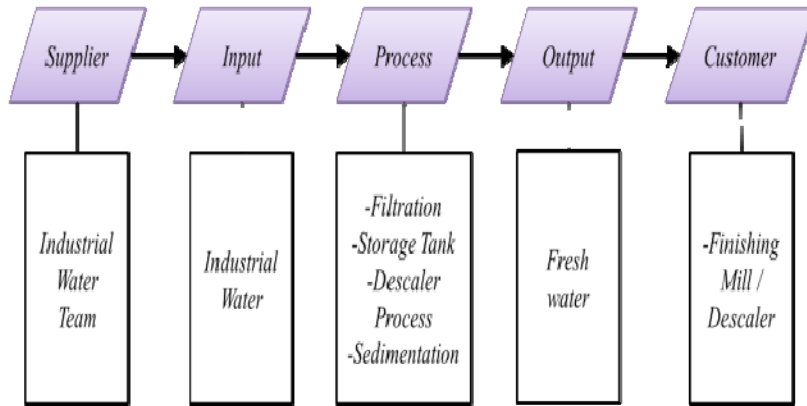
Diagram SIPOC merupakan suatu alir proses yang menunjukkan aktivitas mayor atau subproses dalam suatu proses bisnis yang terdiri dari *supplier, input, process, outputs* dan *customer*.

1. *Supplier* adalah orang atau kelompok orang yang memberikan informasi kunci, material atau sumber daya lain kepada proses. Jika suatu proses terdiri dari beberapa sub proses, maka subproses sebelumnya dapat dianggap sebagai pemasok internal (*internal supplier*).
2. *Input* adalah segala sesuatu yang diberikan kepada pemasok (*supplier*) kepada proses untuk menghasilkan output
3. *Process* adalah sekumpulan langkah yang mentransformasi dan serta ideal menambah nilai kepada input (proses transformasi nilai

- tambah kepada input). Suatu proses biasanya terdiri dari beberapa sub proses.
4. *Output* merupakan produk (barang atau jasa) dari suatu proses. Dalam industri manufaktur, output dapat berupa barang

setengah jadi maupun barang jadi (final product).

Customer adalah orang atau kelompok orang atau sub proses yang menerima output.



Gambar 4.14 Analisis SIPOC.

b. Penentuan *Critical to Quality* (CTQ)

Critical to quality (CTQ) merupakan karakteristik dari sebuah produk atau jasa yang memenuhi kebutuhan konsumen. Menurut Syukron dan Kholil (2013), identifikasi CTQ membutuhkan pemahaman akan suara pelanggan/VOC (*voice of customer*), yaitu kebutuhan pelanggan yang diekspresikan oleh pelanggan itu sendiri. *Critical to Quality* (CTQ) pada penelitian ini termasuk pada jenis *chemical*, karena kriteria kecacatan kualitas dilihat dari parameter kimia air. CTQ pada kualitas air terdiri dari 8, yaitu:

1. pH
2. Cl
3. Turbidity
4. Suspended Solid
5. Fe
6. m-Al
7. Ca-H
8. PO₄

4.2.2 Measure

Tahapan yang dilakukan pada measure yaitu penentuan tingkat kemampuan sigma perusahaan dan pembuatan diagram pareto.

Tabel 2.1 Data pengambilan sampel selama 30 hari.

Parameter Sampel ke-	pH	Cl	Turbidity	Suspended Solid (SS)	Fe	m-Al	Ca-H	PO ₄
		8~10	< 140	< 15		< 3	< 130	< 180
1	10,22	50,54	13,23	5,5	0,9	90,93	88,54	11,62
2	9,09	53,54	10,87	8,5	3,9	93,93	91,54	10,09
3	8,76	66,66	23,31	5,7	3,2	80,67	90,33	9,06
4	11,24	54,55	22,09	7,5	2,9	90,09	87,88	11,43
5	9,23	87,33	14,68	5,3	2,4	85,34	88,45	11,1
6	8,34	56,66	22,08	6,4	2,8	87,19	90,23	7,04
7	10,76	60,53	19,8	5,7	3,9	91,28	90,32	10,45
8	10,43	57,98	11,24	7,6	2,6	92,43	97,32	9,65
9	8,78	52,12	10,98	6,5	2,4	84,33	87,6	11,8
10	9,34	59,99	16,65	5,9	3,1	86,38	90,89	11,6
11	8,78	52,12	19,74	6,5	2,4	84,33	87,6	11,8
12	9,34	59,99	11,24	5,9	3,1	86,38	90,89	11,6
13	10,22	50,54	10,98	5,5	0,9	90,93	88,54	11,62
14	9,34	59,99	22,33	5,9	3,8	86,38	90,89	11,6
15	10,22	50,54	14,68	5,5	0,9	90,93	88,54	11,62

Parameter	pH	Cl	Turbidity	Suspen ded Solid (SS)	Fe	m-Al	Ca-H	PO ₄
Sampel ke-	8~10	< 140	< 15		< 3	< 130	< 180	< 12
16	8,76	66,66	22,08	5,7	3,2	80,67	90,33	9,06
17	7,99	54,55	16,65	7,5	2,9	90,09	87,88	11,43
18	9,23	87,33	11,24	5,3	2,4	85,34	88,45	11,1
19	8,34	56,66	13,84	6,4	2,8	87,19	90,23	7,04
20	11,05	53,54	19,7	8,5	3,9	93,93	91,54	10,09
21	10,89	59,99	11,24	5,9	4,3	86,38	90,89	11,6
22	8,78	52,12	10,98	6,5	2,4	84,33	87,6	11,8
23	9,34	59,99	22,33	5,9	4,6	86,38	90,89	11,6
24	10,22	50,54	14,68	5,5	0,9	90,93	88,54	11,62
25	9,34	59,99	22,08	5,9	1,4	86,38	90,89	11,6
26	10,22	50,54	12,34	5,5	0,9	90,93	88,54	11,62
27	7,79	54,55	11,24	7,5	2,9	90,09	87,88	11,43
28	9,23	87,33	13,84	5,3	2,4	85,34	88,45	11,1
29	9,34	59,99	15,54	5,9	4,1	86,38	90,89	11,6
30	9,34	59,99	16,49	5,9	2,8	86,38	90,89	11,6
Total	12	-	14	-	11	-	-	-
DPU	0,4	-	0,4667	-	0,3667	-	-	-
DPO	0,05	-	0,0583	-	0,0458	-	-	-
DPMO	50.000	-	58.300	-	45.800	-	-	-
Tingkat Kemampuan Sigma	3,145	-	3,070	-	3,190	-	-	-
Rata-rata tingkat kemampuan sigma 3,135								

Berikut adalah kalkulasi penentuan DPU_{pH}, DPU_{Turbidity} dan DPU_{Fe}

- $DPU_{pH} = \frac{\text{Total Cacat}}{\text{Total Sampel}} = \frac{12}{30} = 0,4$
- $DPU_{Turbidity} = \frac{\text{Total Cacat}}{\text{Total Sampel}} = \frac{14}{30} = 0,4667$
- $DPU_{Fe} = \frac{\text{Total Cacat}}{\text{Total Sampel}} = \frac{11}{30} = 0,3667$

Berikut adalah kalkulasi penentuan DPO_{pH}, DPO_{Turbidity} dan DPO_{Fe}

- $DPO_{pH} = \frac{DPU}{CTQ} = \frac{0,4}{8} = 0,05$
- $DPO_{Turbidity} = \frac{DPU}{CTQ} = \frac{0,4667}{8} = 0,0583$
- $DPO_{Fe} = \frac{DPU}{CTQ} = \frac{0,3667}{8} = 0,0458$

Berikut adalah kalkulasi penentuan DPMO_{pH}, DPMO_{Turbidity} dan DPMO_{Fe}

- $DPMO_{pH} = \frac{\text{Total cacat}}{\text{Total Unit} \times \text{Probabilitas}} \times 1.000.000 = DPO \times 1.000.000$

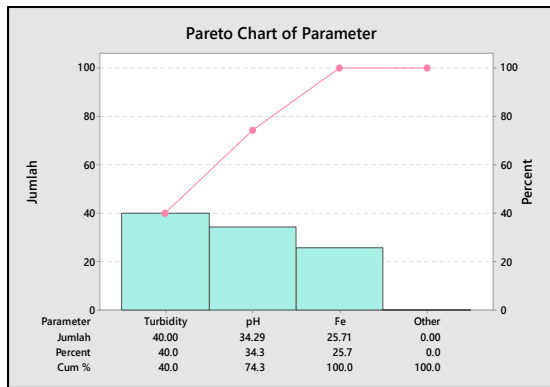
$$= 0,0375 \times 1.000.000 = 37.500$$

- $DPMO_{Turbidity} = \frac{\text{Total cacat}}{\text{Total Unit} \times \text{Probabilitas}} \times 1.000.000 = DPO \times 1.000.000 = 0,0583 \times 1.000.000 = 58.300$
- $DPMO_{Fe} = \frac{\text{Total cacat}}{\text{Total Unit} \times \text{Probabilitas}} \times 1.000.000 = DPO \times 1.000.000 = 0,0458 \times 1.000.000 = 45.800$

Berdasarkan rata-rata tingkat kemampuan *sigma* sebanyak 30 sampel pada uji kualitas air industri adalah 3,135. Tingkat kemampuan *sigma* perusahaan tersebut menunjukkan bahwa perusahaan termasuk klasifikasi kemampuan rata-rata industri Indonesia (Gasperz, V. 2002).

a. Diagram Pareto

Berikut ini adalah data parameter air industri yang disajikan dalam diagram pareto:



Gambar 4.17 Diagram pareto parameter air industri.

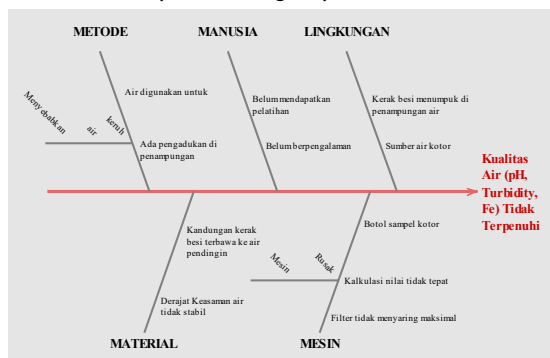
Dari grafik diatas terlihat bahwa parameter *turbidity* mengalami penyimpangan terbesar dibandingkan dengan parameter yang lainnya. oleh karena itu pengendalian kualitas dapat dilakukan pada parameter *turbidity*, kemudian pH, kemudian Fe.

4.2.3 Analyze

Tahap analisa menggunakan *cause and effect* diagram dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

a. Cause and Effect Diagram

Berdasarkan hasil identifikasi masalah diatas, maka dapat diketahui beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas air *plate rolling department*, yaitu dilihat dari segi Manusia, Material, Lingkungan, Mesin dan Metode. Berikut adalah diagram sebab akibat pada analisis kualitas air di *plate rolling department*.



Gambar 418 Diagram hubungan sebab akibat

b. FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Hasil dari FMEA berupa nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang digunakan untuk menentukan prioritas dilakukannya perbaikan menggunakan *design of experiment* (tahap improve) pada faktor yang menyebabkan

terjadinya kecacatan HL (high-low) yang diambil pada divisi plate rolling department dan diambil dari 3 member operator. Member 1 (M1), Member 2 (M2) dan member 3 (M3).

Tabel 4.5 hasil voting brainstorming dari anggota.

Hasil voting dari anggota tim					
No	X-List	M1	M2	M3	Jumlah
7	Belum mendapat training cara mengontrol kualitas air	1			1
2	Belum berpengalaman mengolah air industri				0
3	Derajat keasaman air tidak stabil		1	1	2
4	Kandungan kerak besi terbawa ke air pendingin	1		1	2
5	Nilai turbidity air	1	1	1	3
6	Nilai pH air	1	1	1	3
7	Nilai Fe	1	1	1	3
8	Kerak besi menumpuk di penampungan air		1	1	2
9	Sumber air kotor	1	1	1	3
10	Ada pengadukan dikolam penampungan scale	1			1
11	Kalkulasi nilai parameter tidak tepat		1	1	2
12	Alat penyaringan/filter air tidak menyaring secara optimal	1	1	1	3

Tabel 4.6 Skala Severity (Keparahan) untuk FMEA.

Skala (Ranking)	Keterangan skala severity
Minor (Rank 1)	Tidak memiliki efek yang terlihat pada sistem atau proses
Low (Rank 2-3)	Hanya memiliki efek yang ringan pada proses
Moderate (Rank 4-6)	Memiliki efek yang cukup terlihat, sehingga perbaikan atau kerusakan pada proses
High (Rank 7-8)	Memiliki efek tinggi yang menyebabkan kegagalan serius pada proses.
Very High (9-10)	Memiliki efek kegagalan dan sangat tidak sesuai dengan regulasi syarat dan ketentuan perusahaan.

(Sumber : Matthew J.Hansen : 2011)

Tabel 4.7 Skala Occurance (Kemunculan) untuk potensi akar penyebab.

Skala (Ranking)	Keterangan skala occurrence
Remote (Rank 1)	Tidak mungkin terjadi kegagalan (1=1:1.5M)
Very Low (Rank 2)	Hanya kegagalan terisolasi yang

Skala (<i>Ranking</i>)	Keterangan skala <i>occurrence</i>	Skala (<i>Ranking</i>)	Keterangan skala <i>occurrence</i>
2)	terkait dengan proses ini (2=1:150K)	<i>High (Rank 8-9)</i>	Proses ini atau proses serupa sering gagal (8 = 1: 9; 9 = 1: 6)
<i>Low (Rank 3-5)</i>	Kegagalan terisolasi yang terkait dengan proses serupa (3 = 1: 30K; 4 = 1: 4500; 5 = 1: 800)	<i>Very High (Rank 10)</i>	Kegagalan hampir tak terelakkan (10 => 1: 3)
<i>Moderate (Rank 6-7)</i>	Proses ini mengalami kegagalan sesekali, namun tidak dalam proporsi besar (6 = 1: 150; 7 = 1: 50)	(Sumber : Matthew J.Hansen : 2011).	

Tabel 4.8 Skala *Detection* (deteksi) untuk terjadinya kegagalan.

Skala (<i>Ranking</i>)	Keterangan skala <i>detection</i>
<i>Very High (Rank 1-2)</i>	Kontrol saat ini hampir pasti mendeteksi mode kegagalan. Proses secara otomatis mencegah pemrosesan lebih lanjut.
<i>High (Rank 3-4)</i>	Kontrol memiliki peluang bagus untuk mendeteksi mode kegagalan, proses mendeteksi mode kegagalan secara otomatis.
<i>Moderate (Rank 5-6)</i>	Kontrol dapat mendeteksi adanya mode kegagalan.
<i>Low (Rank 7-8)</i>	Kontrol memiliki kesempatan buruk untuk mendeteksi adanya mode kegagalan
<i>Very Low (Rank 9)</i>	Kontrol mungkin tidak akan mendeteksi adanya mode kegagalan
<i>Absolutely</i>	Kontrol tidak akan atau tidak bisa mendeteksi adanya suatu kegagalan. Tidak ada kontrol yang diketahui yang tersedia untuk mendeteksi mode kegagalan.

Tabel 4.9 *Potensial Failure Mode & Effect Analysis*.

<i>Potensial Failure Mode & Effect Analysis</i>						
No.	<i>Potensial Cause</i>	S	O	D	Jumlah	RPN
1	Derajat keasaman air tidak stabil	6	6	4	16	144
2	Kandungan kerak besi terbawa ke air pendingin	7	6	6	19	252
3	Nilai <i>turbidity</i> air	8	8	8	24	512
4	Nilai pH air	7	8	8	22	448
5	Nilai Fe	7	7	8	21	392
6	Kerak besi menumpuk di penampungan air	3	2	3	8	18
7	Suplai air kotor	8	8	9	23	579
8	Ada pengadukan dikolam penampungan <i>scale</i>	3	4	4	11	48
9	Kalkulasi nilai parameter tidak tepat	4	5	6	15	120
10	Alat penyaringan/filter air tidak menyaring secara optimal	8	7	6	19	336

Tabel 4.10 Fase perbaikan terhadap masalah.

Permasalahan	Saran Perbaikan
Suplai air kotor	Menambahkan filter / alat penyaring pada fasilitas sebelum penggunaan akhir. Menambahkan kolam pengendapan / <i>Sedimentation Basin</i> Menambahkan pasir silika pada tangki penyaringan.
<i>Turbidity</i>	Menambahkan <i>coagulant agent</i> / zat penggumpal didalam bak penampung air.
pH	Melakukan <i>blowdown</i> dan menambahkan <i>fresh water</i> agar konsentrasi air netral.
Fe	Melakukan <i>blowdown</i> dan menambahkan <i>fresh water</i> agar konsentrasi air netral
filter air tidak menyaring secara optimal	Bersihkan filter secara berkala 5-7 hari sekali

Usulan kondisi optimal diatas akan diberikan pada perusahaan dengan harapan dapat memperbaiki kualitas air dan meningkatkan tingkat kemampuan *sigma* mendekati level 6 *sigma* dengan nilai DPMO sebesar 3,4 sebagaimana berdasarkan jurnal yang bersumber dari Vincent Gasperz (2002). Keputusan untuk mengimplementasikan usulan tersebut dikembalikan kepada pihak perusahaan.

4.2.4 Control

Tahapan fasa *control* harus memastikan nilai perbaikan teroptimalisasi dan benar-benar diterapkan sebagaimana mestinya. Di samping itu anggota tim harus berupaya mengurangi resiko kerusakan tambahan yang berhubungan dengan proses yang disebabkan oleh penerapan nilai perbaikan baru dari hasil pembelajaran.

Anggota tim menyebar proses perbaikan keseluruhan organisasi dan memindahtangankan proses kepada penanggung jawab yang selanjutnya melakukan perbaikan secara terus menerus berupa siklus *Plan - Do - Study - Act* (PDSA) atau rencana – pelaksanaan – pembelajaran – aksi perbaikan.

Fasa *Control* harus mencakup hal-hal berikut:

- a. Melakukan pengecekan sampel secara berkala 4-5 hari sekali sehingga jika ditemukan parameter yang diluar spesifikasi bisa langsung dilakukan perbaikan.
- b. Mengurangi efek dari kerusakan tambahan yang berkaitan dengan proses. Seperti akibat kelalaian operator sehingga pengambilan sampel dan analisis sampel tidak dilakukan dengan benar.
- c. Menstandarkan perbaikan-perbaikan yang telah dibuat.
- d. Memelihara dan menjalankan tahapan *control* terhadap perbaikan identifikasi dan arsipkan keuntungan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan yang telah diuraikan diatas tentang analisis faktor-faktor kualitas dan dampak air industri terhadap mesin dan kualitas plat, maka diambil kesimpulan:

1. Faktor yang mempengaruhi kualitas air di *plate rolling department*, yaitu pH, Cl, *Turbidity*, *Suspended Solid*, Fe, m-Al, Ca-H, PO₄.
2. Dari hasil uji lab terhadap air industri sebanyak 30 sampel di *plate rolling*, dihasilkan nilai beberapa parameter yang melebihi dari batas normal, seperti pH, *Turbidity* dan Fe.
3. Semakin tinggi nilai *turbidity* maka semakin besar potensi kerusakan atau cacat pada plat.
4. Berdasarkan faktor analisis data diatas diketahui bahwa nilai RPN dari yang tertinggi sampai terendah adalah sebagai berikut:
 - a. suplai air yang kotor dengan nilai RPN 579. Untuk mengendalikan masalah tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan filter/ alat penyaring pada fasilitas sebelum penggunaan akhir, menambahkan kolam pengendapan/ *sedimentation Basi*, dan menambahkan pasir silika pada tangki penyaringan.
 - b. nilai *turbidity* dengan RPN 512. Untuk mengendalikan masalah tersebut dapat

dilakukan dengan menambahkan *coagulant agent/* zat penggumpal didalam bak penampung air.

- c. nilai pH dengan RPN 448. Untuk mengendalikan masalah tersebut dapat dilakukan dengan melakukan *blowdown* dan menambahkan *fresh water* agar konsentrasi air netral.
- d. nilai Fe dengan RPN 392. Untuk mengendalikan masalah tersebut dapat dilakukan dengan melakukan *blowdown* dan menambahkan *fresh water* agar konsentrasi air netral.
- e. Alat penyaringan/filter air tidak menyaring secara optimal dengan RPN 336. Untuk mengendalikan masalah tersebut dapat dilakukan dengan membersihkan filter secara berkala 5-7 hari sekali.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada narasumber atas kelancaran pelaksanaan penelitian, yaitu Wawan Gunawan, ST, MT yang telah mereview makalah; Bambang Prayogi, ST sebagai pembimbing lapangan; Mberto Pasaribu dan Sahrui sebagai operator lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chinhanga, J. R. (2010). Impact of industrial effluent from an iron and steel company on the physico-chemical quality of Kwekwe River water in Zimbabwe. *International Journal of Engineering, Science and Technology* 2 (7), 129-140.
- Cita, D. W., & Andriyani, R. (n.d.). Kualitas Air Dan Keluhan Kesehatan Pengguna Kolam Renang Di Sidoarjo. *Departemen Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga*, 26-31.
- Dino Remanto, e. a. (2017). The Application of Six Sigma in Process Control of Raw Water Quality on Pharmaceutical Industry at Indonesia. *International Journal of Applied Engineering Research*, 848.
- Gulo, W. (2002). *Metode Penelitian*. Jakarta: PT. Grasindo.
- Hasibuan, M. S. (2001). *Manajemen Dasar Pengertian dan Masalah*. Jakarta: Bumi Aksara.
- James Howay, D. M. (2016). Lean Six Sigma Application to water Utilities: Getting Value for Money Out of Water Quality Monitoring. *Virdis Consultants P/L*.

- Janna, H., & Al-Samawi, A. A. (2014). Performance Evaluation of Al- Karkh Water Treatment Plant in the City of Baghdad. *International Journal Of Advanced Research*, 823-829.
- Jogiyanto, HM, MBA, Ph.D. . (2005). *Analisis dan Desain Sistem Informasi*. ANDY. Yogyakarta.
- Kholil, S. A. (2013). *Six Sigma Quality for Business Improvement*. Yogyakarta (ID): Graha Ilmu.
- Khopkar, S. (n.d.). *Konsep Dasar Kimia Analitik (terjemahan)*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Kumar, S., & Singh, G. (2013). Planning, Designing, Monitoring and Inspection of Wastewater Treatment Systems of Industries. *International Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 225-230.
- Kementerian Perindustrian (2014). Profil Industri Baja 2014. Jakarta
- Mahyudin, Soemarno, & Prayogo, T. B. (2015). Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang. *Program Magister Pengelolaan Sumber Daya Lingkungan, Universitas Brawijaya*, 105-114.
- Mitra 1993, B. (n.d.). *Diagram Pareto*. Jakarta: Guna Widya.
- Muis, S. (2012). *Metodologi Six Sigma Teori dan Aplikasi di Lingkungan Pabrikasi*. Jakarta: Graha Ilmu.
- Montgomery DC. (2009). Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition. Arizona (USA): John Wiley & Sons Inc.
- Narida, A. (2014). *Perilaku Sanitasi, Higiene Dan Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) Dalam Praktik Masakan Indonesia Siswa Program Keahlian Tata Boga Smk Negeri 6*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Saludin. (2016). *Desain Untuk Six Sigma*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Sandria Sandi, d. (2017). Usulan Perbaikan Kualitas Produk Pipa Baja Las Spiral Menggunakan Metode Six Sigma Berdasarkan Design Of Experiment (Doe) Di PT. XYZ. *Jurnal Teknik Industri*, 66.
- SHI, H. (n.d.). International Journal of Engineering, Science and Technology. *Department of Environmental Science and Engineering , Tsinghua University, Beijing, China*.
- Sidiq, M. F. (2013). Analisa Korosi Dan Pengendaliannya. *Akademi Perikanan Baruna Slawi*, 25-30.
- Sinha, S. K., Sinha, V. K., Pandey, S. K., & Tiwari, A. (2014). A Study on the Waste Water Treatment Technology for Steel Industry: Recycle And Reuse. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 309-315.
- Strugariu, M. L., & HEPUT, T. (2012). Monitoring Results On Industrial Wastewater. *University Polytechnic Timisoara, Faculty Of Engineering Hunedoara, Hunedoara, Romania*, 33-36.
- Vincent Gasperz. (2002). *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001, 2000, MBNQA dan HACCP*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Widhy Wahyani, d. (2010). Penerapan Metode Six Sigma Dengan Konsep Dmaic Sebagai Alat Pengendali Kualitas. *Jurnal Teknik Industri*.
- Yayan, S. M. (2012). *Modul K3 Sanitasi Hygiene*. SMK N 3 Wonosari.
- Yuniarti, B. (2007). *Pengukuran Tingkat Kekeruhan Air Menggunakan Turbidimeter Berdasarkan Prinsip Hamburan Cahaya*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.

