TESIS – TI185471

PENERAPAN PRINSIP *LEAN THINKING* DALAM PENGURANGAN *TURN AROUND TIME* CONTOH UJI PADA PROSES PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI DI PABRIK PENGOLAHAN NICKEL

PENDRA SAGITA
NRP. 02411850077034

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Moses L Singgih, M.Sc, M.Reg.Sc

Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

PENDRA SAGITA

NRP. 02411850077034

Tanggal Ujian : 7 Agustus 2020

Periode Wisuda : September 2020

Disetujui Oleh:

Pembimbing :

Prof. Dr. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc., M. Reg.Sc .....

NIP. 19590817 198703 1 002

Penguji :

1. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomultono, M.Eng.Sc. .....

   NIP. 19590318 1987011 001

2. Dr.Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng. .....

   NIP. 19740517 1999031 002

Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph. D.

NIP. 1970052 319960 1 100 1

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENERAPAN PRINSIP *LEAN THINKING* DALAM PENGURANGAN *TURN AROUND TIME* PADA PROSES PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI DI PABRIK PENGOLAHAN NICKEL

Nama Mahasiswa	: Pendra Sagita
NRP	: 02411850077034
Pembimbing	: Prof. Dr. Ir. Moses L Singgih, M.Sc, M.Reg.Sc

ABSTRAK

Karya ini menyajikan studi kasus yang berfokus pada pengurangan waktu analisis dalam proses pengendalian kualitas di pabrik pengolahan Nikel, menggunakan prinsip *Lean Thinking*. Industri nikel, prosesnya adalah pengeringan, reduksi, peleburan dan konversi. Proses ini perlu dikontrol untuk mendapatkan hasil yang optimal, proses ini perlu dikontrol dengan cepat. Jadi data analisis harus dihasilkan dalam waktu singkat. Pencatatan waktu serta kegiatan dari awal dilakukan pengambilan contoh uji sampai pelaporan data hasil analisa dilakukan untuk menganalisa situasi awal menggunakan *Value Stream Mapping* sehingga memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah utama, seperti waktu tunggu yang tinggi. Akar penyebab masalah utama dicari dengan menggunakan diagram *Fishbone* serta diberikan saran perbaikan yang sesuai dengan penyebab masalah tersebut.. Penerapan dari saran perbaikan ini dapat mengurangi waktu analisis dalam proses kontrol kualitas 98.52% dari total waktu siklus.

Keywords: *Quality Control, Lean Thinking, Value Stream Mapping, Fishbone Diagram*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Aplication of Lean Thinking in Reducing Analysis Time on the Quality Control Process at Nickel Processing Plant

Name	: Pendra Sagita
ID Number	: 02411850077034
Supervisor	: Prof. Dr. Ir. Moses L Singgih, M.Sc, M.Reg.Sc

ABSTRACT

This work presents a case study focused on reducing the time of analysis in the quality control process at Nickel processing plant, using *Lean Thinking* tools. The Nickel industry, the process is drying, reducting, smelting and converting. This process needs to be controlled to get optimal result, the process needs to be controlled quickly. So the analysis data must be generated in a short time. Recording time and activities from sampling until reporting the data carried out to analyze the current situation using value stream mapping to identify main problem, such as high waiting times. Root cause of the main problem is sought by using fishbone diagram and given improvement suggestion according to the causes of the problem. The application of these improvement can reduce the analysis time in the quality control process by 98.52% of the total cycle time.

Keywords: Quality Control, Lean Thinking, Value Stream Mapping, Fishbone Diagram

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Kerjasama Industri pada program studi Pascasarjana Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Puji dan Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayahNYA sehingga tesis yang berjudul "Penerapan Prinsip *Lean Thinking* dalam Pengurangan *Turn Around Time* pada Proses Pengendalian Kualitas Produksi di Pabrik Pengolahan *Nickel*" dapat diselesaikan oleh penulis.

Penyelesaian tesis ini mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih setulusnya kepada:

1. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
2. Prof. Iwan Vanany ST, MT, Ph.D selaku Ka. Prodi Pascasarjana Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
3. Prof. Dr. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc., M. Reg.Sc selaku pembimbing tesis yang telah memberikan ilmu, motivasi, serta bimbingan dalam penyusunan tesis ini.
4. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomultono, M.Eng.Sc. dan Dr.Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng. selaku penguji yang telah memberikan masukan, ilmu, serta motivasi dalam penyusunan tesis ini.
5. Bapak Reza P Umbara dan Bapak Umar Kasmon selaku *General Manager* dan *Manager* Departemen *Process Technology* PT. Vale Indonesia Tbk.
6. Bapak-ibu Dosen Teknik Industri ITS yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman, dan motivasi.
7. Bapak-ibu Staf Teknik Industri ITS yang telah banyak memberikan kontribusi dalam berbagai hal.

8. Rekan-rekan kerja di laboratorium *process technology* yaitu Andi Agrah, Hasmawati, Fatmawaty, dan Abdul salam yang telah memberikan bantuan dalam pengumpulan data dan motivasi dalam bekerja.
9. Bapak Harnanto dan Ibu Lisnawati selaku orang tua yang sangat saya cintai dan hormati, yang telah memberikan kasih sayang berlimpah, doa yang tak berhenti, dan dukungan yang selalu ada.
10. Istri tercinta Lutfiani Ningrum yang telah memberikan kasih sayang berlimpah, dukungan, dan doa yang tulus.
11. Anak-anak saya kelak yang akan meraih kesuksesan pendidikan, karir dan segala hal melebihi kami orang tuanya.
12. Teman-teman kuliah KKI Vale yang selalu kompak, inspiratif, dan memberikan banyak motivasi.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mohon kritik, saran, dan masukan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan dimasa yang akan datang. Akhir kata semuga Tesis ini dapat digunakan sebagai mana mestinya serta berguna bagi penulis khusunya dan bagi pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juni 2020

Pendra Sagita

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS i
ABSTRAK iii
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
BAB 1 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 5
BAB 2 7
KAJIAN PUSTAKA 7
2.1 Kualitas 7
2.2 Pengendalian Kualitas 7
2.3 Lean Thinking 8
2.4 *Lean Tools* 10
2.4.1 *Value Stream Mapping* (VSM) 11
2.4.2 Diagram Tulang Ikan (Fishbone Diagram) 13
BAB 3 15
METODOLOGI PENELITIAN 15
3.1 Pengumpulan Data 15
3.2 Pengolahan Data 16
3.3 Pembahasan 16

3.4 Kesimpulan dan Saran 17
BAB IV 19
HASIL DAN PEMBAHASAN 19
4.1 Pengumpulan Data 19
4.1.1Aliran Fisik Produk 19
4.1.2Aliran Informasi 21
4.2 Value Stream Mapping Current State 22
4.3 *Process Activity Mapping* (PAM) 25
4.4 Identifikasi akar penyebab (*root cause*) dengan *FishBone* Diagram 28
4.5 Analisis Rencana Perbaikan 30
4.6 Future State Current State Mapping 35
BAB V 37
KESIMPULAN DAN SARAN 37
5.1 Kesimpulan 37
5.2 Saran 39
DAFTAR PUSTAKA 41
LAMPIRAN A 39
REKAMAN WAKTU DAN AKTIVITAS PENGAMBILAN CONTOH UJI 39
LAMPIRAN B 40
REKAMAN WAKTU DAN AKTIVITAS PREPARASI 40
LAMPIRAN C 41
REKAMAN WAKTU DAN AKTIVITAS LABORATORIUM 41
LAMPIRAN D 42
PERHITUNGAN NPV, IRR, DAN PAYBACK PERIODE 42
LAMPIRAN E 43
ANALISA SENSITIVITAS BIAYA INVESTASI, DISCOUNT FACTOR, DAN BENEFIT COST 43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Area dan Frekuensi Pengambilan Contoh Uji 2

Gambar 1.2 *Turn Around Time* Contoh Uji dan *Turn Around Time* Yang dibutuhkan 3

Gambar 3.1 *Flow Chart* Metodologi Penelitian 17

Gambar 4.1 Urutan Proses Divisi *Sample House* 20

Gambar 4.2 Urutan Proses Laboratorium 21

Gambar 4.3 *Current State Mapping* Proses Analisa Contoh Uji 24

Gambar 4.4 Identifikasi *Waste* dengan menggunakan diagram *fishbone* 28

Gambar 4.5 Analisa Sensitivitas *Benefit Cost* 33

Gambar 4.6 Analisa Sensitivitas Biaya Investasi 34

Gambar 4.7 Analisa Sensitivitas discount Factor 34

Gambar 4.8 *Future State Value Stream Mappin*g 35

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Aliran Informasi Analisa Contoh Uji 22

Tabel 4.2 Aliran Informasi *Output* Proses Analsia Contoh Uji 23

Tabel 4.3 Aliran Informasi *Lead Time* pada Analsia Contoh Uji 23

Tabel 4.4 *Process Activity Mapping Current State* 26

Tabel 4.5 Jumlah dan Proporsi Waktu Tiap Aktivitas 27

Tabel 4.6 Perbandingan Waktu Analisa 31

Tabel 4.7 Penghematan Biaya *Maintenance* 31

Tabel 4.8 Penghematan Biaya Penggantian alat 31

Tabel 4.9 Penghematan Biaya *Man Power* 32

Tabel 4.10 Asumsi Penghematan Pembelian Bahan Kimia 32

Tabel 4.11 *Future State Process Activity Mapping* 36

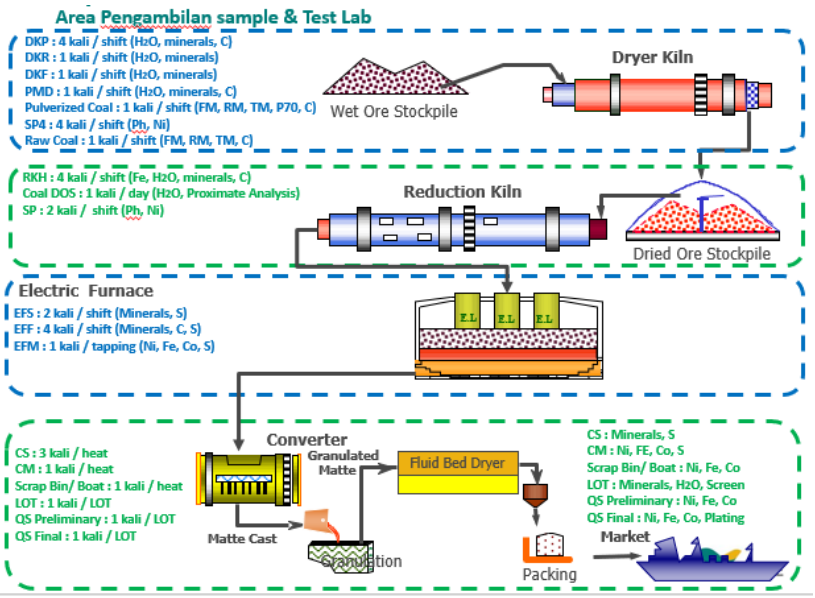
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Operasi pengolahan Nickel yang dilakukan oleh PT. Vale Indonesia terbagi menjadi beberapa proses. Proses tersebut diantara lain adalah proses pengeringan bijih *Nickel* pada *Dryer Kiln,* Selanjutnya proses reduksi bijih *Nickel* pada *Reduction Kiln,* lalu proses peleburan pada tanur pelebur *(Furnace),* dan yang terakhir adalah proses pemurnian lanjut pada *Converter.* Pelaksanaan proses produksi pada semua tahapan memiliki parameter kimia yang harus dilakukan pengendalian kualitas secara baik dengan tujuan agar konsentrasi unsur logam yang didapatkan sesuai dengan spesifikasi yang ada, untuk menjaga agar konsentrasi *Nickel* yang terbuang masih dalam batas toleransi, dan untuk menjaga agar konsentrasi beberapa unsur (Silika, Magnesia, Besi, dan Cobalt) yang dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi masih dalam batas toleransi. Pengendalian kualitas yang ketat adalah kunci dalam melakukan pengujian yang dapat di pertanggungjawabkan. Khususnya kebutuhan dalam tranparansi data, gambaran yang lebih baik dari ketidakpastian, menghindari penyederhanaan berlebihan, dan penyediaan data untuk dianalisis (Schaffelke *et al.,* 2018)

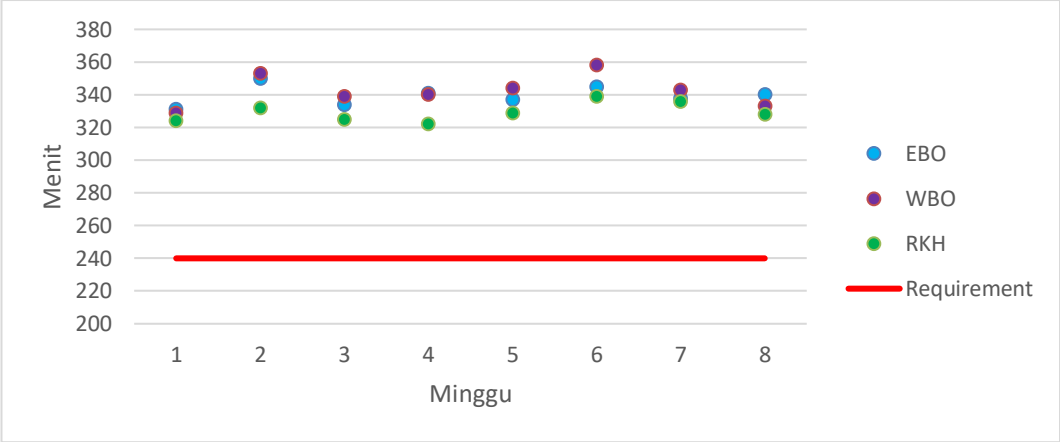
Pengendalian kualitas pada proses produksi di PT. Vale Indonesia dilakukan oleh Laboratorium *Process Technology*. Laboratorium melakukan pengambilan dan analisa contoh uji untuk memastikan setiap proses produksi mendapatkan data yang akurat dan cepat untuk digunakan sebagai acuan dalam mengendalikan proses produksi. Area pengambilan contoh uji dan frekuensi pengambilan contoh uji disajikan pada gambar berikut:



Gambar 1.1 Area dan Frekuensi Pengambilan Contoh Uji

Masing-masing area dalam proses produksi memiliki tipe contoh uji dengan karakteristik yang berbeda. Tipe contoh uji pada area *Dryer Kiln* yaitu *Dryer Kiln Product* (DKP) yang memiliki dua jenis contoh uji yaitu *West Block Ore* (WBO) dan *East Block Ore* (EBO) serta tipe contoh uji pada area *Reduction Kiln* yaitu *Reduction Kiln Hour* (RKH) cenderung memiliki kadar air yang tinggi (karakteristik basah), sedangkan tipe contoh uji pada area tanur pelebur (*Furnace*) yaitu contoh uji *Electric Furnace Feed* (EFF), *Electric Furnace Matte* (EFM) dan *Electric Furnace Slag* (EFS) serta tipe contoh uji pada area *Converter* yaitu contoh uji *Nickel Matte* (LOT) memiliki kadar air yang rendah (karakteristik kering).

Masing-masing tipe contoh uji membutuhkan waktu pengambilan dan waktu Analisa *(Turn Around Time)* yang berbeda serta data yang dihasilkan untuk setiap tipe contoh uji yang digunakan dalam pengendalian kualitas produksi dibutuhkan dalam waktu yang berbeda. Contoh uji pada area *Dryer Kiln* dan *Reduction Kiln* memiliki *Turn around time* yang tinggi sedangkan untuk melakukan pengendalian kualitas di area tersebut data dibutuhkan dalam waktu dua jam setelah dilakukan pengambilan contoh uji. *Turn Around Time* contoh uji dan *Turn around time* yang dibutuhkan disajikan pada grafik berikut :



Gambar 1.2 Turn Around Time contoh uji dan Turn around time yang dibutuhkan

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa rata-rata *Turn Around Time* untuk contoh uji EBO, WBO, dan RKH berada jauh dari *Turn Around Time* yang dipersyaratkan. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa waktu untuk menghasilkan data hasil Analisa contoh uji EBO, WBO, dan RKH masih belum memenuhi persyaratan untuk dapat digunakan sebagai acuan dalam pengendalian kualitas produksi.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dilakukan studi kasus mengenai pengurangan waktu analisa (*Turn Around Time*) pada proses pengendalian kualitas menggunakan prinsip *Lean Thingking.* Shah dan Ward (2003) mendefinisikan *Lean* sebagai metode untuk memberikan nilai maksimal kepada pelanggan dengan cara menghilangkan pemborosan (*waste*) melalui proses dan desain manusia. Studi kasus ini dilakukan dengan menggambarkan keadaan saat ini *(Current state*) dengan menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM), lalu pemborosan (*waste*) dianalisa dengan prinsip *Lean Thinking* sehingga didapatkan proses yang menjadi pemborosan. Selanjutnya, pemborosan tersebut diidentifikasi akar penyebabnya dan dilakukan perbaikan terhadap pemborosan (*waste*) dengan menggunakan *fishbone* diagram. Selanjutnya keadaan setelah perbaikan (*Future State*) digambarkan menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM) kemudian dibandingkan antara *current state mapping* dan *future state mapping* yang ada.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas,maka rumusan masalah yang akan diangkat dalam study studi kasus ini, adalah :

1. Bagaimana gambaran alur proses pada kondisi saat ini (*current state*) menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM)?
2. Bagaimana pemborosan (*waste*) yang terdapat didalam proses menggunakan prinsip *Lean Thinking*?
3. Bagaimana identifikasi akar penyebab dan perbaikan terhadap pemborosan (*waste*) menggunkaan *fishbone* diagram?
4. Bagaimana gambaran alur proses pada kondisi setelah dilakukan perbaikan (*Future state*) menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM)?
5. Bagaimana perbandingan antara *current state mapping* dan *future state mapping* menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan yang ingin dicapai dari penulisan studi kasus ini adalah :

1. Membuat gambaran alur proses pada kondisi saat ini (*current state*) menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM).
2. Menentukan pemborosan (*waste*) yang terdapat didalam proses menggunakan prinsip *Lean Thinking*.
3. Menentukan akar penyebab dan perbaikan terhadap pemborosan (*waste*) menggunakan *fishbone* diagram.
4. Membuat gambaran alur proses pada kondisi setelah dilakukan perbaikan (*Future state*) menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM).
5. Membuat perbandingan antara *current state mapping* dan *future state mapping* menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM).

1.4 Manfaat Penelitian

Mengacu pada tujuan penulisan *case based report* ini, maka manfaat dari penulisan *case based report* dalam studi kasus di PT. Vale Indonesia ini adalah:

1. Memperoleh gambaran alur proses pada kondisi saat ini (*current state*).
2. Mengetahui pemborosan (*waste*) yang terdapat didalam proses.
3. Memperoleh akar penyebab dan perbaikan terhadap pemborosan (*waste*).
4. Memperoleh gambaran alur proses pada kondisi setelah dilakukan perbaikan (*Future state*).
5. Mendapatkan perbandingan antara *current state mapping* dan *future state mapping*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kualitas

Kualitas telah didefinisikan dalam berbagai cara oleh beberapa penulis. Garvin (1984) membagi definisi kualitas menjadi lima kategori yaitu *transenden*, *product based*, *user based*, *manufacturing based*, dan *value based*. Selain itu, untuk menentukan kualitas dapat menggunakan kerangka kerja dari delapan atribut yaitu kinerja, fitur, keandalan, kesesuaian, daya tahan, kemudahan pelayanan, estetika, dan *perceived quality*. Menurut Crosby (1979) kualitas didefinisikan sebagai kesesuaian dengan persyaratan atau spesifikasi. Definisi yang lebih umum dikemukakan oleh Juran (1974) yang mengatakan bahwa kualitas adalah sebuah kesesuaian untuk digunakan.

Definisi terakhir diperluas untuk mencakup sektor manufaktur dan jasa. Sektor jasa menyumbang bagian penting pada perekonomian saat ini, hal tersebut adalah konstituen utama yang tidak boleh diabaikan. Proyeksi menunjukkan bahwa sektor layanan ini yang mencakup sistem informasi, manajemen rantai pasok, perawatan kesehatan dan kesejahteraan, pemasaran, dan industri hiburan akan berkembang lebih jauh di masa depan. Berdasarkan penjelasan diatas maka kualitas dapat didefinisikan sebagai kesesuaian antara produk atau jasa untuk memenuhi atau melebihi keinginan konsumen. Konsumen merupakan pendorong untuk menentukan tingkat kualitas yang harus dirancang menjadi produk atau jasa. Oleh karena itu, ketika kebutuhan konsumen berubah, demikian pula tingkat kualitasnya. Kualitas, dalam pengertian ini bukanlah sesuatu yang dipertahankan pada tingkat universal yang konstan melainkan menyatakan perbedaan tingkatan keinginan pada kelompok konsumen yang berbeda (Mitra, 2016).

2.2 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas biasanya dapat didefinisikan sebagai sistem untuk mempertahankan tingkat kualitas yang diinginkan, melalui informasi pada karakteristik produk atau jasa dan implementasi tindakan perbaikan, dalam hal terjadi penyimpangan karakteristik dari standar yang ditentukan (Mitra, 2016).

Akses ke berbagai sumber informasi mampu memfasilitasi pengambilan keputusan tidak hanya dalam politik, tetapi juga dalam ekonomi dan teknologi (terkait dengan pengendalian atas proses produksi) (Konieczka dan Namiesnik, 2018).

Data analitik pada material objek adalah jenis informasi yang spesifik. Informasi ini biasanya tidak diperoleh melalui analisis keseluruhan objek, tetapi didasarkan pada analisis contoh uji yang sesuai. Oleh karena itu, contoh uji harus dikumpulkan sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi kriteria yang paling penting yaitu dapat mewakili keseluruhan objek. Peneliti banyak melakukan penelitian secara terus menerus dengan tujuan mengembangkan metodologi dan peralatan baru dalam rangka memenuhi permintaan akan data analitik yang semakin meningkat. Hasil pengukuran harus dapat dipercaya, itu berarti hasil pengukuran harus tepat akurat (benar dan tepat) serta dapat menggambarkan kadar yang sebenarnya (jumlah) analit yang terkandung dalam contoh uji, serta dapat mewakili objek material yang diteliti. Ini mengarah pada kesimpulan bahwa semua perkembangan dalam kimia analisis berasal dari keinginan untuk memperoleh data analitik yang lebih baik. Data analitik merupakan jenis produk yang dihasilkan dari analisis kimia, baik produk yang diproduksi maupun hasil analisisnya harus memiliki kualitas yang sesuai dengan standar (Konieczka dan Namiesnik, 2018).

2.3 Lean Thinking

*Lean Thinkin*g merupakan upaya untuk menciptakan nilai lebih banyak bagi konsumen dengan cara mengeliminasi aktivitas-aktivitas pemborosan (*waste*). Pemborosan (*waste*) merupakan aktivitas yang memakai sumber daya tetapi tidak menghasilkan nilai (*value*) (Womack dan Jones, 2003). *Lean Thinking* adalah filosofi manajemen proses umum yang sebagian besar berasal dari *Toyota Production System* (TPS). *Lean Thinking* terkenal akan fokusnya pada pengurangan *seven waste* yang dikemukakan oleh Toyota dalam rangka meningkatkan kepuasan konsumen secara keseluruhan. Pemborosan (*Seven waste*) yang harus dipangkas dan dihilangkan diantaranya adalah:

1. Tranportasi (*Transportation).*

   Transportasi memang dibutuhkan oleh perusahaan nmaun biaya ini harus diminimalkan agar perusahaan tidak merugi. Banyak perusahaan yang tidak memikirkan hal ini, padahal biaya transportasi yang besar bisa ditekan lebih kecil dengan memperhatikan faktor kebutuhan dan kepraktisan tiap kegiatan operasional perusahaan.

2. Kelebihan Produksi (*Over Production*)

   Produksi yang berlebihan justru akan menimbulkan kerugian pada perusahaan. Barang yang telah diproduksi tidak semuanya dijual di pasaran, sebagai alternatif barang tersebut akan disimpan di gudang. Penyimpanan yang lama di gudang tentu bisa menimbulkan kerusakan. Sebagai alternatif terbaik maka perusahaan bisa membuat terlebih dulu perencanaan produksi agar tidak menimbulkan produksi yang berlebihan.

3. Menunggu (*Waiting*)

   Menunggu merupakan jenis pemborosan karena terbuangnya waktu akibat proses menunggu.

4. Proses berlebih (*Overprocessing*)

   Merupakan proses yang terjadi dalam suatu alur proses yang sebenarnya tidak perlu ada. Menggunakan sumber daya yang lebih mahal daripada yang dibutuhkan untuk proses atau menambahkan desain yang tidak dibutuhkan oleh pelanggan. Sumber daya yang mahal juga mendorong *Overproduction* dalam upaya untuk mengembalikan biaya yang mahal dari peralatan.

5. Gerakan yang tidak perlu (*Unnecessary motion*)

   Kegiatan operasional dalam perusahaan atau pabrik terkadang semuanya bermanfaat atau menghasilkan nilai tambah terhadap barang yang diproduksi. Karena ingin meminimalkan biaya maka segala aktivitas yang kurang atau tidak penting dan tidak menambah nilai barang harus dihilangkan. *Motion* merujuk pada gerakan produsen, pekerja, atau

peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan, kelelahan, keausan, dan masalah keamanan.

6. Kelebihan Persediaan (*Excess Inventory*)

   Terlalu banyak menyimpan persediaan atau melakukan pengadaan *inventory* di gudang, hal ini akan mengurangi modal perusahaan. Pengadaan *inventory* bisa didasarkan pada kebutuhan perusahaan dalam jangka pendek, menengah atau jangka panjang sesuai dengan kebutuhan pabrik. Kelebihan persediaan cenderung dapat menyembunyikan masalah pada proses, yang seharusnya dapat diidentifikasi dan diselesaikan untuk meningkatkan kinerja operasi. Kelebihan persediaan dapat menambah waktu tunggu, menunda identifikasi masalah, dan menghambat komunikasi.

7. Barang Cacat (*Defect*)

   Barang cacat tentu saja harus diganti dengan barang baru karena konsumen tidak akan mau membeli barang yang cacat. Kecacatan terhadap barang tersebut akan memperbesar biaya produksi karena akan bertambah produksi suatu barang untuk menggantikan barang yang cacat tersebut. Jika hal ini terus terjadi tiap proses produksi maka lama kelamaan perusahaan akan rugi. Biaya produksi pengganti barang yang cacat terus meningkat sedangkan perusahaan tidak melakukan inovasi apapun. Cacat barang bisa dihindari dengan melakukan beberapa evaluasi dan pengamatan sehingga produksi barang akan semakin baik dan tidak mengalami kecacatan lagi. (Gaspersz dan Fontana, 2011).

2.4 *Lean Tools*

Prinsip *Lean Thinking* memiliki kumpulan pedoman (*Tool*) dan konsep yang sangat luas, peninjauan pedoman dan konsep tersebut menjadi bagian yang paling penting dalam penerapan prinsip *Lean Thinking*, memahami bagaimana pedoman (*Tool*) tersebut dapat dilakukan dan bagaimana pedoman (*Tool*) dan konsep tersebut dapat membantu, adalah cara terbaik yang dapat dilakukan untuk memulai melakukan suatu perbaikan. Prinsip *Lean Thinking* yang berkaitan dengan studi kasus ini dinatara lain adalah:

2.4.1 *Value Stream Mapping* (VSM)

Value Stream Mapping (VSM) merupakan metode pendukung yang sering digunakan dalam *Lean* untuk menganalisis dan mendesain aliran (*flows*) pada tingkatan sistem (melewati beberapa proses) (Waszkowski et al., 2016). *Value Stream Mapping* menganalisis aliran material dan informasi, dengan menggambarkan VSM para praktisi dapat memvisualisasikan dan melihat dengan jelas seluruh aliran proses, mengidentifikasi pemborosan dalam proses, membangun hubungan antara aliran informasi dan material, serta memahami bagaimana organisasi di masa depan (Kaczmarek dan Saniuk, 2018).

Value Stream Mapping (VSM) digambarkan sebagai sebuah proses sederhana namun masuk akal dan sangat menggambarkan proses tersebut. Proses digambarkan dalam bentuk *Current state map* yang merupakan gambaran dasar pada keadaan saat ini, dimana semua parameter diukur dan *Future state map* yang mewakili bayangan tentang bagaimana aliran nilai (*value stream*) pada masa depan setelah dilakukan perbaikan. *Value stream Mapping* terbagi menjadi tiga bagian yaitu:

1. Proses atau Aliran Produksi (*Process or production flow*)

   Proses atau aliran produksi adalah bagian dari peta yang paling sering dikaitkan dengan diagram alir konvensional. Alur proses digambarkan dengan menunjukan aliran atau kurangnya aliran dari kiri ke kanan. Alur produksi/proses ini harus selalu digambarkan dari kiri ke kanan dan jangan pernah menduplikasi suatu bagian proses. Pekerjaan kecil atau pekerjaan yang dilakukan secara paralel digambar dengan cara yang sama yaitu dibawah aliran utama.

   Menggambar aliran proses *Value stream* dengan cara ini memungkinkan untuk dapat memisahkan tugas utama yang dilakukan berulang dari langkah kecil dalam proses, ini memungkinkan pekerja dapat melihat dimana jalur alternatif dapat muncul, serta dimana pekerjaan dilakukan secara paralel. Setelah itu, semua masalah dan peluang yang ada dalam kondisi saat ini dapat didiskusikan dan

dianalisis dengan mencari solusi secara sistematis, menghilangkan pemborosan, dan meningkatkan proses secara keseluruhan.

2. Alur Komunikasi atau Informasi pada *Value Stream Map*

   Bagian komunikasi atau informasi adalah bagian dimana *Value Stream Map* mulai berkembang dari semula merupakan teknik konvensional dalam pemetaan proses seperti misalnya diagram alir. Penambahan komunikasi atau informasi kedalam peta dapat memungkinkan untuk melihat semua kominikasi baik formal maupun informal yang ada didalam aliran proses.

   Banyak kegagalan yang sering muncul dalam *value stream* dapat ditelusuri secara langsung ke komunikasi yang tergolong *Non Value Added* (NVA). Aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah adalah aktivitas yang tidak menambah nilai pada proses atau aktivitas yang tidak akan dibayar oleh konsumen. Meskipun aliran dasar komunikasi beralih dari konsumen ke pemasok, atau kanan ke kiri pada *Value Stream*, tidak ada aliran yang di standarisasi pada keseluruhan proses. Komunikasi yang mengalir ke segala arah bukan hal yang aneh dalam *Current state map.*

3. *Timeline* dan Jarak Perjalanan yang ditampilkan pada *Value Stream Map*

   Value Stream Map bagian bawah merupakan serangkaian garis yang menyediakan beberapa informasi yang paling menarik bagi orang yang melihat. Himpunan garis yang muncul dihampir setiap peta merupakan *Timeline*. Garis berjumlah dua tersebut digunkaan untuk mengkomunikasikan kepada pembaca mengenai potongan data primer yang diukur dalam perbaikan proses. Garis atas mengukur waktu proses, kadang-kadang disebut sebagai waktu tunggu (*lead time*). Garis ini dibuat berdasarkan pada jumlah produk atau pekerjaan dalam *value stream* dan tingkat permintaan pelanggan serta menunjukan berapa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan semua material atau pekerjaan yang ada sampai selesai.

Jumlah pekerjaan pada setiap langkah proses didokumentasikan pada *Timeline*, biasanya sebagai jumlah hari kerja. Ketika dijumlahkan pada akhir *Timeline* ini, kita akan memperoleh waktu proses yang intinya mewakili total waktu dalam satu siklus. Waktu dalam satu siklus diamati pada setiap langkah proses dan didokumentasikan di bawah setiap kotak proses ikut pada garis paling bawah. Semua waktu dalam satu siklus dijumlahkan pada akhir proses dan dijadikan sebagai waktu siklus total (*Total Cycle Time*). Beberapa peta berisi konten kerja (*Labor Content*) sebagai ganti dari waktu siklus. Saat konten kerja (*Work Content*) digunakan maka baris ini disebut sebagai total konten kerja (*Total Work Content*).

Garis lain ditempatkan di bagian bawah, dimana banyak peta mewakili jarak tempuh melalui proses. Baris ini dapat digunakan untuk mendokumentasikan jarak perjalanan produk atau pekerjaan, atau dapat mewakili jarak perjalanan pekerja yang bergerak dalam proses. Proses ini digunakan untuk perjalanan fisik saja, dan bukan untuk jarak yang dipindahkan secara elektronik, seperti ketika bentuk elektronik dipindahkan dari satu tempat ke yang lain melalui jaringan komputer atau Internet (Nash dan Poling, 2008).

2.4.2 Diagram Tulang Ikan (Fishbone Diagram)

Diagram tulang ikan (*Fishbine Diagram*) atau yang juga disebut *Ishikawa* diagram adalah sebuah teknik grafis yang bertujuan untuk menunjukkan beberapa penyebab peristiwa atau fenomena. Secara khusus, diagram tulang ikan adalah pedoman umum yang digunakan dalam analisa sebab dan akibat untuk mengidentifikasi interaksi penyebab yang kompleks untuk masalah atau peristiwa tertentu. Diagram tulang ikan ini dibuat oleh Ishikawa dalam bidang penelitian manajemen (Coccia, 2017).

Faktanya, analisis sebab akibat ini pada awalnya dikembangkan sebagai alat kendali mutu, seperti desain produk dan pencegahan cacat kualitas, untuk mengidentifikasi faktor faktor yang menyebabkan efek keseluruhan. Setiap penyebab adalah sumber dari adanya variasi. Penyebab biasanya

dikelompokkan ke dalam kategori utama untuk mengidentifikasi sumber variasi keseluruhan yang mengarah pada efek utama. Secara umum, diagram tulang ikan dapat digunakan sebagai representasi visual yang sesuai dari fenomena yang melibatkan penyelidikan beberapa faktor sebab dan akibat dan bagaimana mereka saling berhubungan (Ayverdi et al., 2014).

Diagram tulang ikan pada bagian kepala menunjukkan masalah yang akan dicari akar penyebabnya. Tulang tulang ikan digambarkan sebagai panah horizontal, tulang mewakili penyebab dan faktor yang secara langsung dan tidak langsung menjadi penyebab timbulnya masalah, dan tulang digambarkan oleh tanda panah yang condong ke arah panah utama. Panah dari faktor yang mempengaruhi dapat ditambahkan ke panah utama yang merupakan kategori penyebab, pada saat yang sama kedua faktor yang berbeda dapat memperburuk ataupun menetralisir masalah tersebut. Secara konvensional metode *brainstorming* digunkaan untuk menentukan kemungkinan kategori penyebab utama dan rincian penyebab (Yurin et al., 2018)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini akan menjelaskan langkah-langkah dalam menyusun studi kasus dari tahap awal sampai akhir. Bagian ini merupakan tahap awal dari penelitian yang disusun dan disesuaikan dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian untuk diimplementasikan di PT Vale Indonesia. Studi kasus ini dilakukan melalui dua tahapan sistematis yaitu:

1. Tahap 1 : Pengumpulan dan pengolahan data
2. Tahap 2 : Tahap analisis, dan kesimpulan

3.1 Pengumpulan Data

Pada Tahap ini data dibagi dua menjadi data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang didapatkan melalui penyebaran kuisioner kepada departemen yang bersangkutan dalam proses produksi, selain itu bisa juga didapatkan dari pengamatan langsung, wawancara dan studi data langsung seperti mendokumentasikan proses produksi. Sedangkan untuk data sekunder meliputi data sejarah perusahaan, data jumlah tenaga kerja dan proses produksi. Hasil dari pengumpulan data primer dan sekunder didapatkan untuk perbaikan proses produksi sebagai berikut:

1. Aliran proses operasional produksi sampai menjadi produk barang jadi yang siap dikirim ke *customer*.
2. Aliran informasi waktu dan proses operasional saat produksi.
3. Identifikasi informasi pemborosan termasuk tujuh waste di setiap spot dalam proses produksi.

Data sekunder:

1. Aliran Material
2. Aliran informasi produksi
3. Aktifitas Operator
4. *Layout* pabrik
5. Produk *defect*

3.2 Pengolahan Data

Pada Pengolahan data menggunakan *value stream analysis tool*, menghasilkan suatu keadaan perbaikan yang dapat digunakan sebagai suatu proses perbaikan dimana kondisi awal yang dihasilkan oleh obyek penelitian diketahui terlebih dahulu sehingga dapat memahami langkah apa yang bisa dilakukan pada tahapan selanjutnya. *Value streaming mapping* adalah model yang dapat digambarkan sebagai beberapa hal seperti berikut:

1. Mendeskrisipkan keadaan yang dilakukan proses produksi saat ini.
2. Menggambarkan urutan proses dari pengambilan contoh uji sampai dengan data analisis diterima pelanggan.
3. Mendifinisikan pemborosan yang timbul.
4. Mencatat waktu aktivasi operasi selama proses produksi.

Pembuatan *Current State Map* adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data yang diperlukan dalam proses industri.
2. Mengetahui pencapaian dan prestasi yang dihasilkan oleh proses produksi.
3. Mengetahui tahapan pokok dari proses produksi.

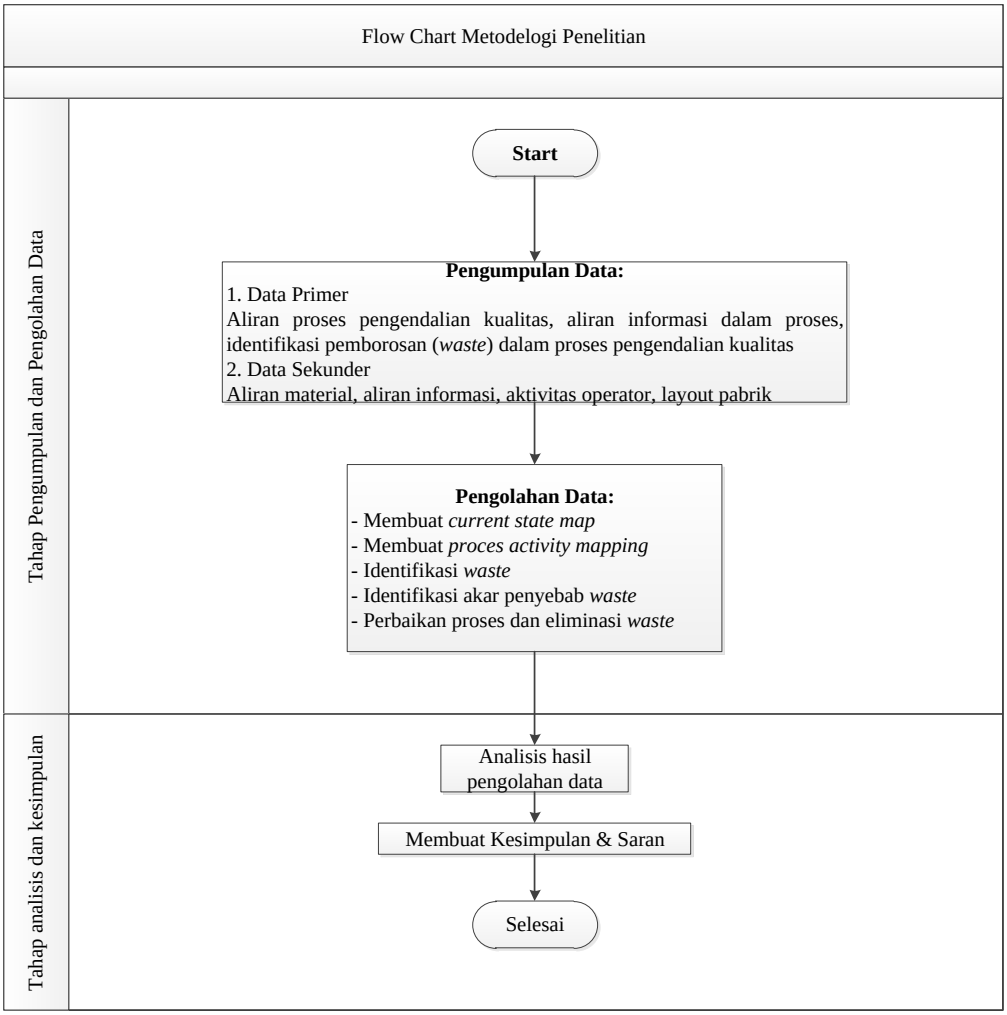
Selanjutnya, menganalisis *Current State Map* untuk menemukan pemborosan yang terdapat pada proses. Pemborosan (*waste*) kemudian dicari akar penyebabnya dengan menggunakan *fishbone* diagram.

3.3 Pembahasan

Pembahasan disini menghasilkan sebuah *future state map* setelah melalui proses *value stream mapping* untuk mengetahui perbedaan yang terjadi setelah melalui tahap *improve*, Selanjutnya dipilih 3 faktor yang secara rating terbesar sangat mempengaruhi pemborosan pada proses pengendalian kualitas. Setelah itu mengeliminasi atau meminimalkan kegiatan yang dianggap *non value added*. Sehingga hasil minimalisasi diharapkan adalah bisa menjadi perbaikan di proses produksi tersebut dan langkah terakhir adalah melakukan evaluasi.

3.4 Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisis masalah maka peneliti diharapkan bisa membuat kesimpulan dari beberapa metode yang telah digunakan untuk membuat saran kepada perusahaan agar bisa menerapkan sistem *lean manufacturing* dengan tepat dan berguna untuk kemajuan penelitian berikutnya. Sehingga nantinya di tahap ini akan diketahui seberapa besar pemborosan yang terjadi dan kemudian berdasarkan hasil akan dapat disusun beberapa macam strategi untuk meminimalkan *waste* dengan evaluasi untuk proses pengendalian kualitas produksi. Pelaksanaan penelitian ini mengikuti tahap-tahap seperti yang disajikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 *Flow Chart* metodologi penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

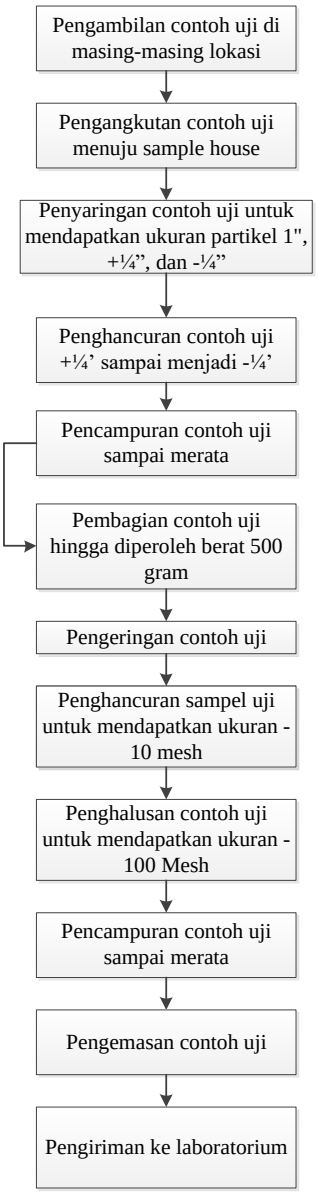
4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Aliran Fisik Produk

Aliran proses dalam pengendalian kualitas produksi di pabrik pengolahan *Nickel* dibagi menjadi 2 bagian dan dilakukan di 2 divisi yang berbeda yaitu divisi *sample house* dan laboratorium dengan penjelasan sebagai berikut :

1. Divisi *Sample House*

   Aliran proses pada bagian ini pertama adalah pengambilan contoh uji (*Sample*) pada setiap tempat pengambilan yang sudah disediakan. Contoh uji selanjutnya dibawa menuju sample house untuk dilakukan preparasi. Contoh uji kemudian dilakukan penyaringan dengan menggunakan *vibrating screen* untuk mendapatkan ukuran partikel 1 Inchi, +1/4 Inchi, dan -1/4 Inchi. Contoh uji dengan ukuran partikel +1/4 Inchi kemudian dihancurkan menggunakan *Crusher* sehingga diperoleh ukuran -1/4 Inchi. Setelah itu contoh uji dengan ukuran partikel -1/4 Inchi diaduk sampai merata (*homogen*). Setelah itu contoh uji dibagi sehingga didapatkan berat 500 gram. Contoh uji tersebut kemudian dikeringkan didalam oven sampai kadar air hilang. Setelah contoh uji tersebut kering lalu dilakukan penghancuran sampai diperoleh ukuran partikel -10 Mesh. Contoh uji yang sudah dihancurkan kemudian diaduk sampai merata dan dilakukan pembagian dengan jumlah ¼ bagian untuk dilanjutkan proses penghalusan dengan menggunakan peralatan *Continous Ring Mill* (CRM) sedangkan ¾ bagian dibuang. Sebagian contoh uji kemudian dihaluskan dengan alat CRM sehingga diperoleh contoh uji dengan ukuran partikel -100 Mesh, lalu contoh uji diaduk sampai rata dan dimasukan kedalam wadah untuk selanjutnya dianalisa di laboratorium. Berikut adalah urutan proses pada divisi *sample house*.

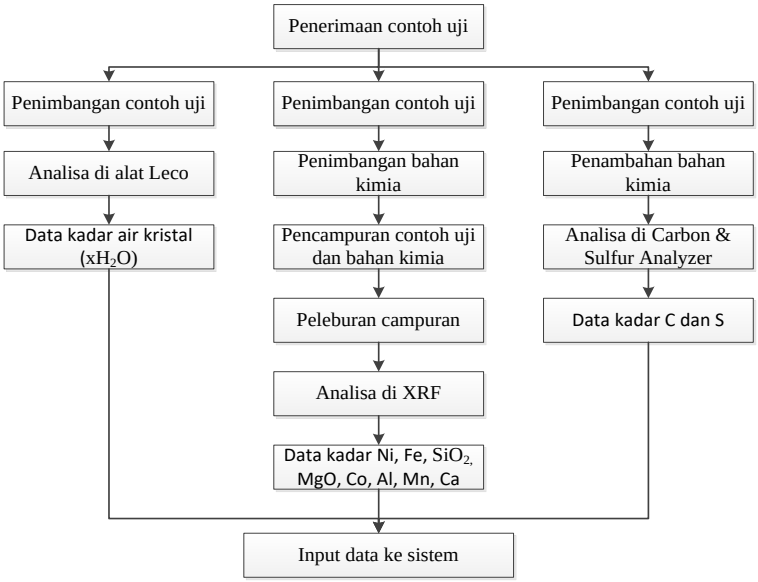


Gambar 4.1 Urutan Proses Divisi *Sample House*

2. Divisi Laboratorium

Aliran proses pada bagian ini pertama adalah menimbang contoh uji yang sudah diterima, kemudian mencampurkan dengan bahan kimia Litium Tetra Borat (*Flux*), selanjutnya dilelehkan dengan alat modutemp sehingga dihasilkan lelehan dingin yaitu *Bead* yang selanjutnya akan dianalisa menggunakan peralatan XRAY *Flourescence* (XRF) sehingga diperoleh data unsur Nickel (Ni), besi (Fe), Silica (SiO_2), Magnesia (MgO), Cobalt (Co), Alumunium (Al),

Mangan (Mn), dan Calsium (Ca). Bagian lain dari contoh uji ditimbang dan dicampur bahan kimia untuk dianalisa pada alat *Carbon Sulfur Analyzer* untuk mendapatkan unsur karbon (C) dan Sulfur (S), juga ditimbang dan dicampur bahan kimia untuk dianalisa pada alat Leco untuk mendapatkan data air kristal (xH_2O). Data yang diperoleh dari hasil analisa selanjutnya dimasukkan dalam sistem berbasis web untuk selanjutnya digunakan dalam pengendalian proses produksi. Berikut adalah urutan proses pada divisi laboratorium.



Gambar 4.2 Urutan Proses Laboratorium

4.1.2 Aliran Informasi

1. Awal aliran informasi diterima adalah ketika adanya permintaan data dari *customer* (Departemen Kiln), selanjutnya diadakan pertemuan antara *customer* dan laboratorium untuk menentukan frekuensi pengambilan contoh uji berdasarkan kebutuhan, tempat pengambilan contoh uji, dan data unsur apa saja yang dibutuhkan.
2. Manager berkoordinasi dengan supervisor mengenai permintaan pelanggan dari segi bahan kimia, prosedur, tenaga kerja, dan lama waktu pengerjaan.
3. Manager berkoordinasi dengan bagian pembelian mengenai ketersediaan bahan kimia dan peralatan.

4. Manager berkoordinasi dengan supervisor untuk memulai kegiatan preparasi dan analisa contoh uji.
5. Preparasi dan analisa contoh uji dilakukan setiap hari.
6. Divisi *sample house* dan laboratorium bekerjasama untuk menghasilkan data yang tepat, cepat, dapat dipertanggung jawabkan, serta sesuai dengan standar ISO 17025:2017.
7. Supervisor selalu melakukan inspeksi yang *up to date* untuk mengetahui kebenaran data yang dihasilkan.
8. Setelah contoh uji selesai dianalisa dan menghasilkan data kadar unsur, data tersebut didistribusikan ke pelanggan melalui sistem berbasis web yang dapat diakses oleh seluruh pelanggan dengan mudah.

4.2 Value Stream Mapping Current State

VSM adalah sebuah peta aliran proses dari perusahaan beserta segala hal yang terkait didalamnya. Pada gambar 4.3 terdapat gambar *value stream mapping current state* yang menggambarkan kondisi awal perusahaan. Terdapat 2 macam alur pada pabrik pengolahan *Nickel* yaitu aliran informasi dan alur aliran fisik. Alur informasi yang terkait dengen beberapa bagian divisi yang menimbulkan proses komunikasi misalnya dengan bagian pengadaan, dan pelanggan. Sedangkan alur fisik terkait dengan proses preparasi dan analisa contoh uji. *Information flow current state* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Aliran informasi analisa contoh uji

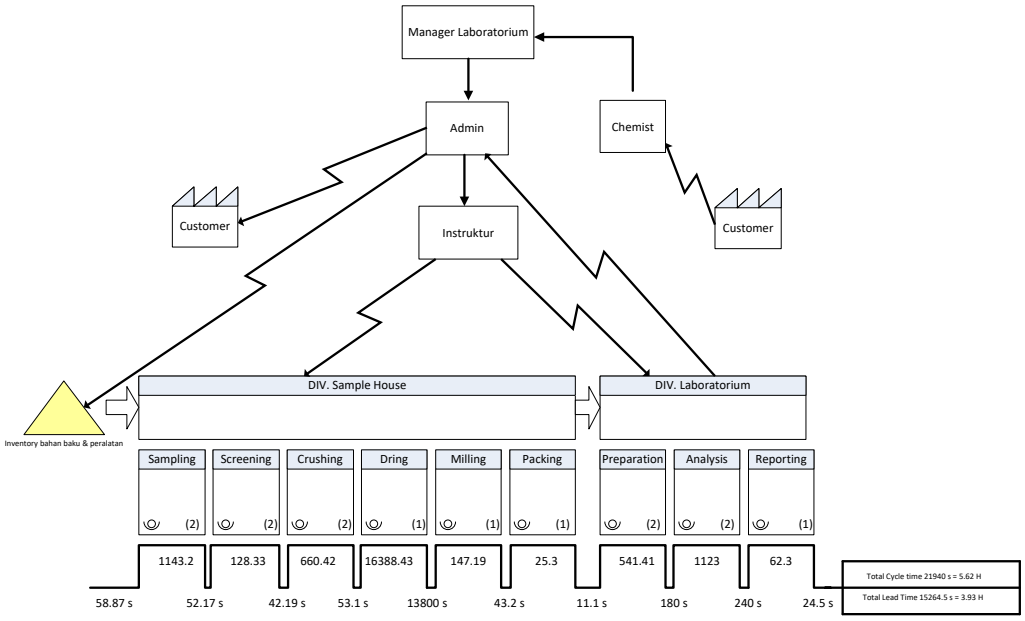
No.	Information flow	Information
1	*Customer*	keinginan atau kebutuhan konsumen atas Data Analisa
3	*Chemist*	*chemist* membuat pengaturan proses analisa sesuai keinginan customer
4	Manager Laboratorium	Menyetujui/Membatalkan proses, Menyusun rencana kerja dan pengadaan finansial
5	Admin	Menerima input warehouse (gudang bahan baku), input permintaan pengujian customer, kooordinasi analisa sampel
6	Instruktur	mendeskripsikan prosedur kerja ke semua team leader shift

Tabel 4.2 Aliran Informasi *Ouput* Proses Analisa Contoh Uji

No	divisi	*output*	Sat	jumlah operator/orang	*Takt Time*
1	*Sample House*				
	sampling	4	Contoh uji	2	1143.42
	screening	4	Contoh uji	2	128.33
	crushing	4	Contoh uji	2	660.42
	drying	4	Contoh uji	1	16388.63
	milling	4	Contoh uji	1	147.19
	packing	4	Contoh uji	1	25.3
2	Laboratorium				
	Preparation	4	Contoh uji	2	541.41
	Analysis	4	Contoh uji	2	1123
	Reporting	4	Contoh uji	1	62.3
	Total				20220

Tabel 4.3 Aliran Informasi *Lead Time* Pada Analisa Contoh Uji

No	Proses	*Lead time (s)*	Keterangan
1	*Sample House*		
	from inventory	58.87	
	Sampling	52.17	
	Screening	42.19	
	Crushing	53.1	
	Drying	13800	
	Milling	43.2	
	Packing	11.1	LT ke proses selanjutnya
2	*Laboratorium*		
	Preparation	24.1	
	Analysis	32.1	
	Reporting	35.1	
	Total	14151.93	



Gambar 4.3 *Current State Mapping* Proses Analisa Contoh Uji

Dalam *value stream mapping* terdapat proses preparasi contoh uji di *sample house*, dan proses analisa di laboratorium. pada masing-masing proses terdapat waktu pengerjaan dan jumlah operator yang dibutuhkan sehingga nilai *takt time* diambil masing-masing proses yang diambil dari rata-rata waktu pengerjaan tiap proses. Berdasarkan aliran fisik dan aliran informasi pada *Value Stream Mapping* yang telah dibuat, maka dapat di identifikasi permasalahan yang terjadi dalam proses analisa contoh uji pada pengendalian kualitas produksi di pabrik pengolahan *nickel*, yaitu :

1. Pengambilan contoh uji dari lokasi yang berjarak cukup jauh dari tempat preparasi menghabiskan cukup banyak waktu. Transportasi merupakan kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah. Selain itu, tempat pengambilan contoh uji yang berada di lokasi pengolahan nickel seringkali kondisinya tidak aman untuk melakukan pengambilan, kondisi tidak aman membuat pengambilan contoh uji terhambat.
2. Keseluruhan proses menunjukan bahwa masih terdapat proses yang tidak bernilai dan memang harus dilaksanakan seperti proses pengeringan contoh uji serta proses peleburan contoh uji yang mengakibatkan waktu tunggu.

3. Proses penginputan data yang masih manual dilakukan oleh pekerja sering kali terlewatkan, sehingga menambah panjang proses hingga data dapat diterima oleh pelanggan.

Berdasarkan permasalahan yang ditemukan diatas, maka perlu di analisa lebih rinci lagi pemborosan pemborosan yang terjadi di dalam proses analisa pada pengendalian kualitas proses produksi.

4.3 *Process Activity Mapping* (PAM)

Pembuatan tools ini memerlukan pengamatan secara langsung terhadap proses, aktivitas tiap proses, jarak, waktu serta tenaga kerja yang terlibat. Hasilnya di inputkan kedalam tabel dimana setiap aktivitas akan dikelompokkan kedalam lima jenis aktivitas, yaitu operasi, transportasi, inspeksi, *delay*, dan *storage*. Dari tabel ini didapat proporsi jumlah aktivitas dan waktu tiap tipe aktivitas. Dengan pemahaman bahwa aktivitas *value added* merupakan suatu aktivitas yang memberikan nilai tambah dan tidak dapat dihilangkan. Aktivitas *non value added* merupakan suatu aktivitas yang tidak memiliki nilai tambah dan dapat dihilangkan, sedangkan aktivitas *necessary non value added* merupakan suatu aktivitas yang masih diperlukan dalam proses tetapi tidak memberikan nilai tambah terhadap produk . Hasil dari proporsi PAM dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Process CAtivity MApping Current State

No.	Akttivitas	Mesin/Alat	Jarak	Waktu	Jumlah Orang	Aktivitas					NA/NVA/NNVA
						O	T	I	S	D	
1	Persiapan alat untuk pengambilan sample dryer	Sekop, Ember		67.17	1				x		NVA
2	Menuju ke sampling point DKP 1 (dari sample house) untuk melakukan pengambilan sample	Mobil		69.58	2		x				NVA
3	Melakukan pengambilan sample DKP 1	Sekop, Ember		37.75	2	x					NVA
4	Menuju ke DOS 1 (dari DKP 1) untuk melakukan pengambilan sample	Mobil		45.08	2		x				NVA
5	Melakukan pengambilan sample DOS 1	Sekop, Ember		102.58	2	x					NVA
6	Menuju ke sampling point DKP 2 (dari DOS 1) untuk melakukan pengambilan sample	Mobil		213.67	2		x				NVA
7	Melakukan pengambilan sample DKP 2	Sekop, Ember		68.83	2	x					NVA
8	Menuju ke sampling point DOS 2 (dari DKP 2) untuk melakukan pengambilan sample	Mobil		140.17	2		x				NVA
9	Melakukan pengambilan sample DOS 2	Sekop, Ember		122.67	2	x					NVA
10	Kembali ke sample house	Mobil		275.92	2		x				NVA
11	Persiapan alat untuk preparasi *sample* DOS atau DKP	trolly		63.50	2				x		NVA
12	Menurunkan *sample* DOS atau DKP dari mobil	trolly		14.75	2		x				NVA
13	Pisahkan ukuran partikel *sample* DOS atau DKP menggunakan vibrating screen	vibrating screen		16.75	2	x					NVA
14	Lakukan timbangan fraksi dari *sample* yang telah dipisahkan berdsarkan ukuran partikel	Timbangan		33.33	2	x					NVA
15	Lakukan penghancuran *sample* DOS atau DKP dengan menggunakan crusher menjadi 1/2 inchi	crusher 1/2 inch		111.25	2	x					NVA
16	Lakukan ayakan sample untuk mendapatkan sample yang berukuran dibawah 1/4 inchi	screen 1/4 inch		21.08	2	x					NVA
17	Lakukan penghancuran *sample* DOS atau DKP dengan menggunakan crusher menjadi 1/4 inchi	crusher 1/4 inch		82.42	2	x					NVA
18	Gabungkan dan homogenkan *sample* DOS atau DKP menggunakan *mollen*	mollen		360.00	2	x					NVA
19	Bagi *sample* menjadi 2 bagian menggunakan alat pemisah besar	splitter		47.17	1	x					NVA
20	Bagi *sample* menjadi 2 bagian menggunakan alat pemisah kecil	splitter		38.50	1	x					NVA
21	Lakukan penimbangan awal untuk penentuan kadar air dan masukkan sample ke dalam oven	timbangan		28.25	1	x					NVA
22	Pengeringan menggunakan oven	oven		16330.28	1					x	NVA
23	Lakukan penimbangan akhir untuk penentuan kadar air	timbangan		30.10	1	x					NVA
24	Penghalusan contoh uji (milling)	Continous Ring Mill		109.60	1	x					NVA
25	Bagi *sample* menjadi 2 bagian menggunakan alat pemisah kecil	splitter		37.59	1	x					NVA
26	packing	fortis		25.30	1				x		NVA
27	Persiapan alat dan bahan	timbangan		52.67	1				x		NVA
28	Timbang 0.8 gram *sample plant* atau *mining*	timbangan		15.42	1				x		NVA
29	Timbang 8 gram bubuk *flux fusion*	timbangan		12.33	1	x					NVA
30	Aduk 40 kali campuran *sample* dan *flux fusion* sampai tercampur merata dan tuangkan ke cawan	spatula		15.33	1	x					NVA
31	Fuse	modutemp		445.66	1					x	NVA
32	Analisa di XRAY, dan LECO	XRF, Leco		1123.00	2	x					VA
33	Pelaporan	komputer		62.30				x			VA

Keterangan :

- Data pada tabel merupakan data untuk satu siklus analisa contoh uji
- Perhitungan waktu dilakukan berdasarkan proses analisa contoh uji

Tabel 4.5 Jumlah dan Proporsi Waktu Tiap Aktivitas

Aktivitas	Jumlah	Waktu	Persentase	VA	NNVA	NVA
Operation	19	2398.54	11.86%	1123		1275.54
Transportation	6	759.17	3.75%			759.17
Inspection	1	62.3	0.31%		62.3	
Storage	5	224.05	1.11%			224.05
Delay	2	16775.94	82.97%			16775.94
Total	**33**	**20220**	**100.00%**	**1123**	**62.3**	**19034.7**

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada proses analisa contoh uji, proporsi waktu *delay (waiting)* menghabiskan waktu paling banyak yaitu sebesar 16775,94 *second* atau setara dengan 82.97% dari total waktu keseluruhan. Berikutnya adalah *operation* (11.86%) , transportasi (3.75%), *storage* (1.11%) dan yang terakhir adalah inspeksi (0.31%). Berikut adalah perhitungan *Value added ratio* :

$$Value\ added\ ratio = \frac{value\ added\ time\ (process\ time)}{total\ process\ cycle\ time}\ x\ 100\%$$

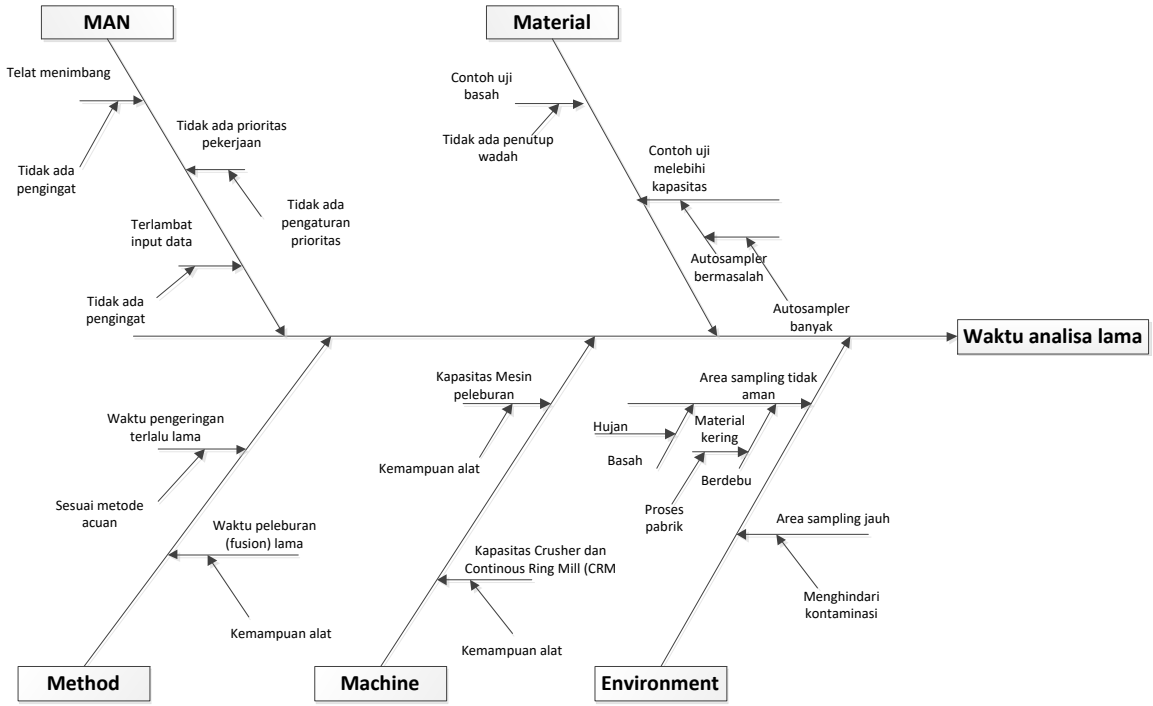
$$= \frac{1185.3}{20220} \times 100\% = \mathbf{5.86}\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa aktivitas yang mempunyai nilai tambah hanya 5.86 % dari total waktu yang dibutuhkan, sedangkan aktivitas *Non Vale Added* mengambil proporsi waktu sebesar 94.14 % dan 88.13 % diantaranya merupakan aktivitas menunggu (*waiting*), sedangkan aktivitas yang merupakan *necessary non value added* dengan porsi sebanyak 0.31%. Hal ini menunjukan bahwa sebagian besar proses analisa contoh uji saat ini merupakan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan harus digantikan dengan aktivitas yang dapat memberikan nilai tambah. *Continous improvement*

bukan hanya sekedar menghilangkan *non value added*, tetapi juga bagaimana mengganti aktivitas *non value added* tersebut dengan aktifitas yang *value added*

4.4 Identifikasi akar penyebab (*root cause*) dengan *FishBone* Diagram

Diagram *fishbone* ini akan mengidentifikasi penyebab terjadinya pemborosan berdasarkan hasil dari analisa *Process Activity Mapping waste* yaitu *delay (waiting)*, diagram ini didapatkan dari hasil *brainstorming* dengan beberapa karyawan berpengalaman yang ahli pada bidangnya, seperti ketua kelompok, dan para karyawan senior. Diagram *fishbone* dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.4 Identifikasi *waste* dengan menggunakan diagram *fishbone*

Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan diagram *fishbone* dapat terlihat berbagai penyebab yang ada. Penyebab-penyebab tersebut digolongkan kedalam 5 kategori yaitu *Man, Material, Measurement, Method, Machine*, dan *Environment.* Masing-masing kategori memiliki beberapa penyebab yaitu sebagai berikut:

1. *Man*

   Kategori *Man* terkait dengan perilaku dari pekerja seperti telat menginput data, telat melakukan penimbangan, dan tidak bisa menentukan prioritas pekerjaan, hal ini tentunya sangat mempengaruhi waktu analisa contoh uji

2. *Material*

   Kategori *Material* yang terkait dengan kondisi contoh uji yang basah dikarenakan wadah yang kurang baik sehingga ketika hujan contoh uji basah dan mempersulit dilakukannya preparasi contoh uji

3. *Method*

   Kategori *Method* terkait dengan metode yang digunakan dalam preparasi contoh uji memerlukan waktu pengeringan yang cukup lama, dan juga waktu peleburan yang lama, dimana aktivitas tersebut hanya merupakan aktivitas menunggu (*waiting*).

4. *Machine*

   Kategori *Machine* terkait dengan mesin yang digunakan seperti *Crusher* untuk menghancurkan contoh uji dan *Continous Ring Mill* yang digunakan untuk menghaluskan contoh uji memiliki kapasitas yang kecil sedangkan contoh uji yang dikerjakan berjumlah banyak selain itu jumlah *auto sampler* yang banyak menyulitkan tim *maintenace* untuk melakukan perbaikan, sehingga *auto sampler* sering dalam kondisi yang tidak baik.

5. *Environment*

   Kategori *environment* juga memberikan kontribusi disebabkan kondisi lingkungan pengambilan contoh uji yang tidak aman, kondisi tidak aman tersebut dipicu oleh cuaca buruk dan kondisi operasi pabrik yang tidak normal. Sebagai perusahaan yang mengutamakan keselamatan, kondisi tidak aman membuat pekerjaan berhenti. Selain itu, jarak *auto sampler* jauh dengan lokasi laboratorium sehingga menyebabkan waktu tunggu *(waiting).*

Berdasarkan hasil analisa beberapa kategori diatas memberikan banyak kontribusi terhadap waktu tunggu yang menyebabkan proses analisa lama. Kondisi ini juga menggambarkan bahwa proses analisa contoh uji masih manual dan sangat tergantung pada pekerja.

4.5 Analisis Rencana Perbaikan

Penyebab-penyebab terjadinya pemborosan yang ada pada proses analisa contoh uji dalam pengendalian kualitas produksi telah di ketahui, sehingga dapat diusulkan perbaikan agar penyebab-penyebab pemborosan dapat dihilangkan. Berikut adalah usulan perbaikan untuk proses analisa contoh uji :

1. Pemasangan *Real Time analyzer (Online analyzer)*

   Penyebab-penyebab pemborosan dari hasil analisa menggunkaan *fishbone* diagram menggambarkan bahwa proses analisa contoh uji saat ini masih sangat tergantung dengan berbagai faktor diantaranya manusia. Sehingga, perlu dilakukan perbaikan terhadap keseluruhan proses. Perbaikan tersebut berupa penggantian proses manual menjadi proses yang otomatis. Proses yang otomatis dapat menghilangkan aktivitas *non value added* dan mempersingkat waktu analisa. Proses otomatisasi dapat diwujudkan dengan pemasangan alat *real time analyzer*. Alat *real time analyzer* dipasang di pabrik pengolahan pada lokasi pengambilan contoh uji. Prinsip kerja alat ini adalah menyinari material yang ada pada *belt conveyor* dengan sinar radiasi pada intensitas tertentu sehingga dapat menghasilkan data kandungan logam dengan cepat. Pemasangan alat *real time analyzer* diharapkan dapat memberikan banyak keuntungan diantaranya adalah :

   a. Memperbaiki prosedur analisa contoh uji pada proses pengendalian kualitas produksi sehingga pemborosan dapat dihilangkan
   b. Menurunkan waktu analisa contoh uji pada proses pengendalian kualitas produksi di pabrik pengolahan, total waktu analisa awal 337 menit (5.6 jam) menjadi 5 menit atau

penurunan 98.52% total waktu analisa. Perbandingan waktu analisa awal dibandingkan dengan asumsi pengajuan disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan waktu analisa

No	Proses	*Existing*	*Purpose*
		Time (s)	
1	*Sample House*		
	Sampling	1143.42	
	Screening	128.33	
	Crushing	660.42	
	Drying	16388.6	
	Milling	147.19	
	Packing	25.3	
2	Laboratorium		
	Preparation	541.41	
	Analysis	1123	180
	Reporting	62.3	120
	Total	20220	300

c. Mengurangi langkah proses berarti juga menghilangkan biaya *maintenance* dan biaya penggantian peralatan. Penghematan biaya maintenance setiap tahun dan penggantian alat setiap 10 tahun disajikan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8

Tabel 4.7 Penghematan biaya *maintenance*

Deskripsi	Jumlah	Frekuensi	Biaya
Tools predictive maintenance	11	260	25740
Power electricity	14	12	226800
Total saving cost			252540

Tabel 4.8 Penghematan biaya penggantian alat

Deskripsi	Jumlah	Frekuensi	Biaya
Tools predictive replacement	11	1	810000
Total saving cost			810000

d. Menurunkan jumlah pekerja di divisi *sample house*, dikarenakan alat sudah tidak dioperasikan lagi oleh pekerja. Sehingga dapat menghemat biaya yang dikeluarkan untuk *man power*. Asumsi penghematan biaya *man power* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.9 Penghematan Biaya *Man Power*

No.	Identitas	jumlah	frekuensi (hari)	harga ($/hari)	total ($)
1	*man power*	3	1095	40	131,400

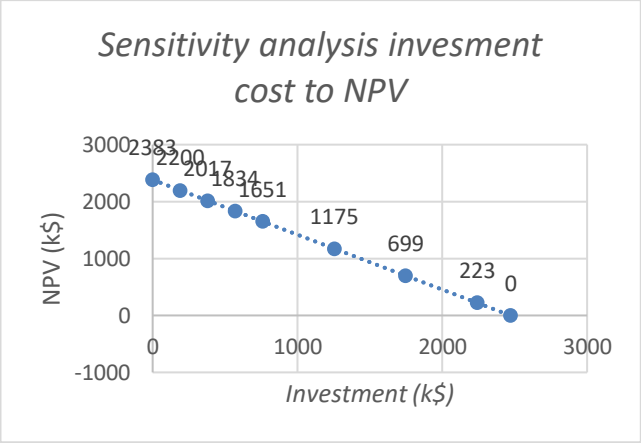
e. Menurunkan penggunaan bahan kimia di laboratorium, sehingga dapat menghemat biaya. Sehingga dapat menghemat biaya yang dikeluarkan untuk pembelian bahan kimia. Asumsi penghematan biaya pembelian bahan kimia dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.10 Penghematan pembelian bahan kimia

No.	Identitas	pemakaian/tahun (kg)	unit price ($)	total price
1	Litium Tetra Borat	136.704	110	15,037.44

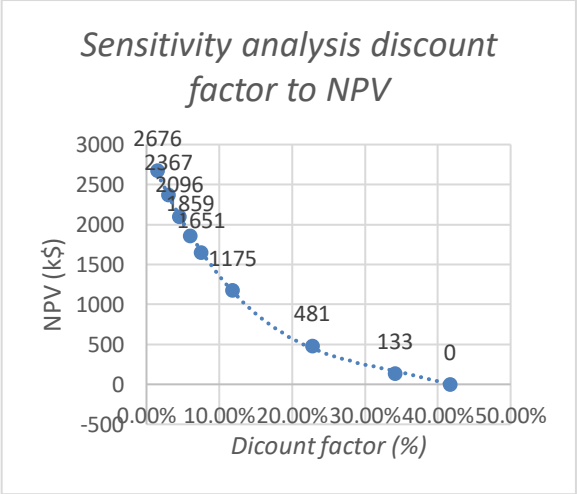
f. Berdasarkan keuntungan yang akan didapatkan , maka dapat dihitung *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate Return (IRR)*, dan *Payback periode* dari usulan pemasangan *real time analyzer* ini. Berdasarkan hasil perhitungan pada lampiran 4.1 dapat diperoleh nilai NPV sebesar $1,651,000, IRR sebesar 41.7%, dan *payback period* 2.37 tahun untuk nilai investasi sebesar $759,000, benefit sebesar $399,000 untuk tahun pertama, dan $1,209,000 untuk tahun ke-10 dengan waktu 10 tahun.

g. Analisa sensitivitas dilakukan untuk mengetahui batasan perubahan setiap parameter yang masih dalam batas toleransi. Parameter yang ditinjau antara lain adalah biayaa investasi, *discount factor, dan benefit cost.* Analisa sensitivitas pada parameter biaya investasi dapat dilihat pada Gambar berikut :



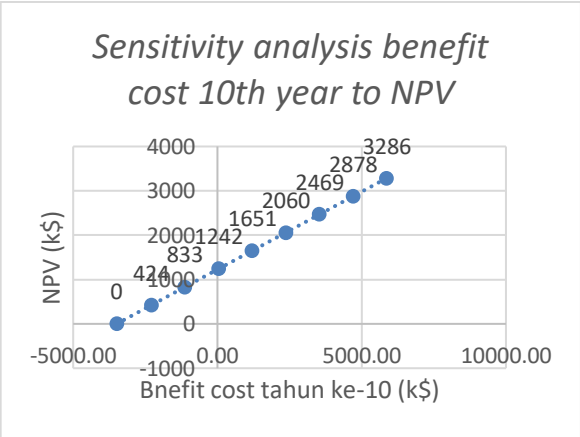
Gambar 4.5 Grafik analisa sensitivitas biaya investasi

Berdasarkan grafik tersebut nilai NPV=0 didapatkan ketika terjadi kenailan biaya investasi sebesar $2,471,000. Toleransi perubahan biaya investasi yang semula $759,000 menjadi $2,471,000 menunjukan bahwa pada parameter ini dinilai cukup aman terhadap perubahan biaya investasi yang besar. Analisa sensitivitas juga dilakukan pada parameter *discount rate* untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan *discount rate* terhadap NPV yang didapatkan. Grafik analisa sesnsitivitas discount rate terhadap NPV disajikan pada gambar berikut.



Gambar 4.6 Grafik analisa sensitivitas *discount factor*

Berdasarkan grafik tersebut nilai NPV=0 didapatkan ketika *discount factor* bernilai 41.65%, yang semula *discount factor* ini bernilai 7.5%. Data tersebut menunjukan bahwa untuk mencapai NPV=0 membutuhkan perubahan terhadap *discount factor* dengan nilai yang besar. Analisa sensitivitas juga dilakukan terhadap parameter *benefit cost* yang didapatkan dari pemasangan alat *real time analyzer*. *Benefit cost* yang digunakan adalah benefit pada tahun ke-10 investasi, dikarenakan pada tahun tersebut seharusnya bertepatan dengan penggantian peralatan manual yang ada sebelumnya. Analisa sensitivitas terhadap parameter *benefit cost* disajikan pada gambar berikut:

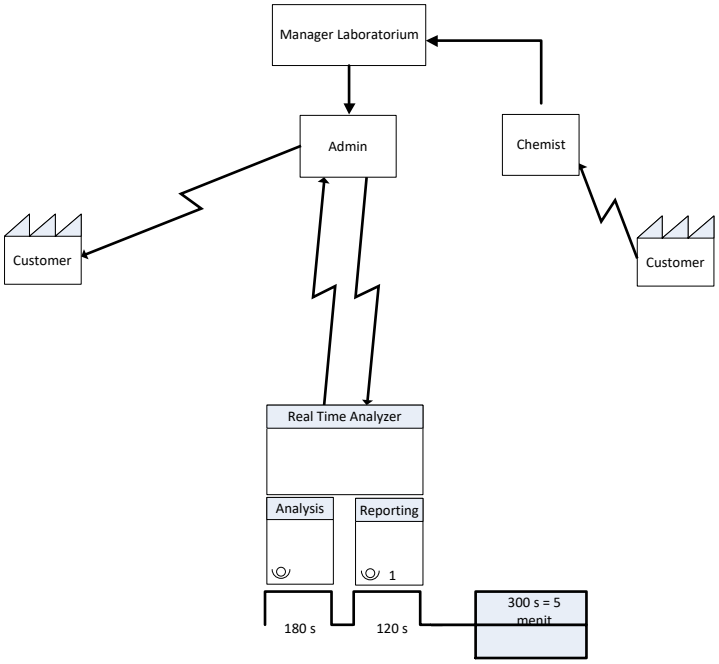


Gambar 4.7 Analisa sensitivitas *benefit cost*

Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan bahwa nilai NPV=0 terjadi ketika benefit cost pada tahun ke-10 bernilai -$3.494.900. Nilai tersebut didapatkan hanya jika selama 10 tahun alat *real time nalayzer* tidak berfungsi dengan baik sehingga membutuhkan biaya maintenance yang besar dan juga jika alat yang lama digunakan kembali. Nilai tersebut menunjukan toleransi yang besar terhadap perubahan dari nilai awal *benefit cost*.

4.6 Future State Current State Mapping

Setelah dilakukan penggambaran *current state mapping* dan identifikasi pemborosan, dapat diketahui proses yang perlu dilakukan perbaikan agar kondisi proses analisa contoh uji pada pengendalian kualitas produksi dapat mendekati konsep *lean manufacturing* yaitu dengan melakukan penggantian proses , dari manual proses menuju ke otomatisasi proses menggunakan *real time analyzer*. Perbaikan yang diusulkan dapat dilihat dari *future state value stream mapping* pada gambar 4.5.



Gambar 4.8 *Future State Value Stream Mapping*

Berdasarkan *future state current state mapping* tersebut dapat dilihat bahwa hampir keseluruhan proses mengalami perubahan. Pemborosan yang ditemukan sudah dihilangkan, sehingga proses menjadi lebih sederhana tapi memiliki nilai tambah dengan keseluruhan waktu proses yaitu 5 menit. Pembuktian bahwa usulan diatas dapat mengurangi pemborosan yang ada pada proses analisa contoh uji dalam pengendalian kualitas produksi dapat dilihat pada *process activity mapping (PAM)* pada kondisi yang diusulkan, dimana jumlah waktu yang dibutuhkan untuk analisa contoh uji lebih cepat dibandingkan pada *current state value stream mapping*. Adapun tabel PAM dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.11 *Future State Process Activity Mapping*

No.	Akttivitas	Mesin/ Alat	Jarak	Waktu	Jumlah Orang	Aktivitas					NA/NVA/NNVA
						O	T	I	S	D	
1	Analisa	*real time analyzer*		180.00	2	x					VA
2	Pelaporan	komputer		120.00				X			NNVA

Berdasarkan tabel PAM diatas dapat dilihat terjadi beberapa pengurangan langkah proses analisa contoh uji, jika dibandingkan dengan data PAM sebelum perbaikan terdapat 33 langkah proses dalam melakukan analisa contoh uji, dan pada PAM setelah usulan perbaikan hanya terdapat 2 langkah proses. Hal tersebut dikarenkaan hilangnya proses-proses dengan kategori *non value added* (NVA).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan analisa dan pembahasan maka dalam bab ini akan ditarik kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian. Selain itu juga berisi saran penelitian sehingga diharapkan menjadi penelitian yang bermanfaat, membangun, dan berguna dimasa depan.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisa dalam penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan yaitu:

1. Berdasarkan *current state mapping* ditemukan jenis pemborosan yaitu *transportation* dan *waiting*
2. Berdasarkan *process activity mapping* persentase pemborosan terbesar yaitu aktifitas *delay (waiting)* sebesar 82.97% dan *Transportation* sebesar 3.75%. *Value added ratio* adalah sebesar 5.86%, dengan persentase aktivitas *non value addded* sebesar 94.14%, dan persentase aktivitas *necessary non value added* sebesar 0.31%.
3. Berdasarkan *fishbone* diagram ditemukan penyebab-penyebab terjadinya pemborosan *(waiting)*, Berdasarkan hasil analisa beberapa kategori diatas memberikan banyak kontribusi terhadap waktu tunggu yang menyebabkan proses analisa lama. Kondisi ini juga menggambarkan bahwa proses analisa contoh uji masih manual dan sangat tergantung pada pekerja.
   - *Man*

     Kategori *Man* terkait dengan perilaku dari pekerja seperti telat menginput data, telat melakukan penimbangan, dan tidak bisa menentukan prioritas pekerjaan, hal ini tentunya sangat mempengaruhi waktu analisa contoh uji

- *Material*

  Kategori *Material* yang terkait dengan kondisi contoh uji yang basah dikarenakan wadah yang kurang baik sehingga ketika hujan contoh uji basah dan mempersulit dilakukannya preparasi contoh uji
- *Method*

  Kategori *Method* terkait dengan metode yang digunakan dalam preparasi contoh uji memerlukan waktu pengeringan yang cukup lama, dan juga waktu peleburan yang lama, dimana aktivitas tersebut hanya merupakan aktivitas menunggu (*waiting*).
- *Machine*

  Kategori *Machine* terkait dengan mesin yang digunakan seperti *Crusher* untuk menghancurkan contoh uji dan *Continous Ring Mill* yang digunakan untuk menghaluskan contoh uji memiliki kapasitas yang kecil sedangkan contoh uji yang dikerjakan berjumlah banyak selain itu jumlah *auto sampler* yang banyak menyulitkan tim *maintenace* untuk melakukan perbaikan, sehingga *auto sampler* sering dalam kondisi yang tidak baik.
- *Environment*

  Kategori *environment* juga memberikan kontribusi disebabkan kondisi lingkungan pengambilan contoh uji yang tidak aman, kondisi tidak aman tersebut dipicu oleh cuaca buruk dan kondisi operasi pabrik yang tidak normal. Sebagai perusahaan yang mengutamakan keselamatan, kondisi tidak aman membuat pekerjaan berhenti. Selain itu, jarak *auto sampler* jauh dengan lokasi laboratorium sehingga menyebabkan waktu tunggu *(waiting).*

4. Hasil dari analisis rencana perbaikan adalah pemasangan *real time analyzer* yang akan menggantikan manual proses menjadi proses yang otomatis. Pemasangan *real time analyzer* memiliki banyak keuntungan yang berdasarkan *financial evaluation* menghasilkan NPV sebesar $10,516,000, IRR sebesar 224,5 %, dan *payback period* 0.45 tahun. Selain itu pemasangan *real time analyzer* mampu menurunkan 98.52%

total waktu analisa. Analisa sensitivitas menunjukan bahwa nilai NPV=0 terjadi ketika nilai investasi naik menjadi $2,471,000, discount rate naik menjadi 41.65%, dan benefit cost pada tahun ke-10 turun menjadi -$3,494,900.

5. Berdasarkan perbandingan *current state* dan *future state* dapat dilihat terjadi beberapa pengurangan langkah proses analisa contoh uji, jika dibandingkan dengan data sebelum perbaikan terdapat 33 langkah proses dalam melakukan analisa contoh uji, dan pada data setelah usulan perbaikan hanya terdapat 2 langkah proses. Hal tersebut dikarenakan hilangnya proses-proses dengan kategori *non value added* (NVA).

5.2 Saran

Setelah melalui hasil analisa, maka ada beberapa saran terhadap laboratorium tentang bagaimana usaha mengurangi pemborosan, efisiensi proses dan peningkatan kualitas sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya diharapkan mengkaji tentang implementasi *lean manufacturing* yang berkesinambungan dengan produktivitas didalam perusahaan, sehingga memunculkan kebijakan yang dinamis dalam hal pengembangan perusahaan dimasa depan.
2. Melakukan penerapan metode *value stream mapping* terhadap keseluruhan proses pengendalian kualitas produksi.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan untuk melakukan validasi pada *future state mapping* secara tepat berdasarkan data lapangan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Ayverdi, L., Nakiboglu, C., Oz Aydin, S. (2014). Usage of Graphic Organizers in Science and Tecnology Lessons. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 116 (2014) 4264 - 4269.

Coccia, M. (2017). The Fishbone Diagram to Identify, Systematize and Analyze the Sources of General Purpose Technologies. *Social and Administrative Sciences*.

Crosby, P. B. (1979). *Quality is Free*. McGraw-Hill, New York.

Gaspersz, V., & Fontana, A. (2011). Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries. *Vinchristo Publication*.

Garvin, D. A. (1984). "What Does Product Quality Really Mean?". *Sloan Management Review*, 26 (1): 25-43.

Juran, J. M., Ed. (1974). *Quality Control Handbook 3rd ed.* McGraw-Hill, New York.

KaczMarek, M. J., Saniuk, A. (2018). How to Make Maintenance Processes More Efficient Using Lean Tools?. *Springer International Publishing*.

Konieczka, P., Namiesnik, J. (2018). *Quality Assurance and Quality Control in the Analytical Chemical Laboratory 2nd ed.* CRC Press, New York.

Mitra, A. (2016). *Fundamentals of Quality Control and Improvement 4th ed.* John Wiley & Sons, New Jersey.

Nash, M. A., Poling, S. R. (2008). *Mapping the Total Value Stream*. CRC Prss, New York.

Schaffelke, B., Fabricius, K., Kroon, F., Brodie, J., De'ath, G., Shaw, G., Tarte, D., Warne, M., Thorburn, P. (2018). Support for Improved Quality Control but Misplaced Criticism of GBR Science. *Marine Pollution Bulletin*.

Shah, R and Ward, P. T. (2003). "Lean Manufacturing: Context, Practices Bundles and Performance". Journal of Operations Management 21 (2), 129-149.

Waszkowski, R., Nowicki, T., Saniuk, A. (2016). Human-computer Interaction in Sanitary Inspection Simulation Excercises. *Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Ergonomics Modeling* pp 245-254.

Womack, J. P., Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. Free Press, New York.

Yurin, A. Yu., Berman, A. F., Dorodnykh, N. O., Nikolaychuk, O. A., Pavlov, N. Yu. (2018). Fishbone Diagrams for the Development of Knowledge Bases. *Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*.

LAMPIRAN A

REKAMAN WAKTU DAN AKTIVITAS PENGAMBILAN CONTOH UJI

No.	Aktivitas	Jumlah observasi ke-N (detik)												Average (seconds)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Persiapan alat untuk pengambilan sample dryer	71	69	65	66	69	76	63	65	69	70	61	62	67.17
2	Menuju ke *sampling point* DKP 1 (dari *sample house*) untuk melakukan pengambilan *sample*	69	67	73	75	65	63	74	73	68	71	69	68	69.58
3	Melakukan pengambilan sample DKP 1	44	38	37	43	36	35	34	41	43	35	34	33	37.75
4	Menuju ke DOS 1 (dari DKP 1) untuk melakukan pengambilan *sample*	49	40	45	39	51	44	43	47	47	45	44	47	45.08
5	Melakukan pengambilan *sample* DOS 1	96	111	98	99	105	113	115	97	95	96	112	94	102.58
6	Menuju ke *sampling point* DKP 2 (dari DOS 1) untuk melakukan pengambilan *sample*	209	219	221	210	211	222	210	212	212	208	207	223	213.67
7	Melakukan pengambilan *sample* DKP 2	63	73	61	71	73	62	60	75	78	79	64	67	68.83
8	Menuju ke *sampling point* DOS 2 (dari DKP 2) untuk melakukan pengambilan *sample*	145	138	129	136	140	144	143	127	128	147	150	155	140.17
9	Melakukan pengambilan *sample* DOS 2	122	125	110	118	130	135	112	119	125	128	125	123	122.67
10	Kembali ke *sample house*	269	275	273	289	257	281	282	262	269	287	283	284	275.92
	Total Waktu	1137	1155	1112	1146	1137	1175	1136	1118	1134	1166	1149	1156	1143.42

LAMPIRAN B

REKAMAN WAKTU DAN AKTIVITAS PREPARASI

No.	Aktivitas	Jumlah observasi ke-N (detik)												Average (seconds)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Persiapan alat untuk preparasi *sample* DOS atau DKP	65	66	60	59	58	57	65	69	67	69	63	64	63.5
2	Menurunkan *sample* DOS atau DKP dari mobil	12	17	15	13	18	14	12	13	15	16	15	17	14.8
3	Pisahkan ukuran partikel *sample* DOS atau DKP menggunakan vibrating screen	21	15	16	14	17	16	15	20	19	15	16	17	16.8
4	Lakukan timbangan fraksi dari *sample* yang telah dipisahkan berdsarkan ukuran partikel	33	35	30	29	37	39	34	32	31	31	32	37	33.3
5	Lakukan penghancuran *sample* DOS atau DKP dengan menggunakan crusher menjadi 1/2 inchi	121	112	113	109	119	107	108	110	108	106	110	112	111.3
6	Lakukan ayakan sample untuk mendapatkan sample yang berukuran dibawah 1/4 inchi	25	18	17	19	23	21	22	24	18	19	22	25	21.1
7	Lakukan penghancuran *sample* DOS atau DKP dengan menggunakan crusher menjadi 1/4 inchi	89	80	83	82	81	87	82	81	80	79	85	80	82.4
8	Gabungkan dan homogenkan *sample* DOS atau DKP menggunakan *mollen*	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360.0
9	Bagi *sample* menjadi 2 bagian menggunakan alat pemisah besar	50	44	45	43	46	49	48	51	50	44	47	49	47.2
10	Bagi *sample* menjadi 2 bagian menggunakan alat pemisah kecil	41	34	37	35	40	39	38	42	41	38	38	39	38.5
11	Lakukan penimbangan awal untuk penentuan kadar air dan masukkan sample ke dalam oven	29	30	28	27	34	25	27	29	29	31	25	25	28.3
12	pengeringan menggunakan oven	16334	16330	16502	16212	16115	16432	16381	16344	16312	16321	16336	16344.4	16330.3
13	lakukan penimbangan akhir untuk penentuan kadar air	32.1	30.1	30.5	30.7	30.9	29.1	28.2	30	27.4	31.5	31	30	30.1
14	penghalusan contoh uji	110	115	112	112	108	101	101	103	106	110	124	114	109.7
15	bagi contoh uji menjadi dua bagian	40	38	37	37	36	35	38	39	40	39	35	37	37.6
16	packing	28	23	24	37	25	19	20	23	22	20	28	34	25.3
	Total Waktu													17349.9

LAMPIRAN C

REKAMAN WAKTU DAN AKTIVITAS LABORATORIUM

No	Aktivitas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average (seconds)
1	Persiapan alat untuk penimbangan *sample plant* dan *mining*	50	49	48	51	52	57	60	54	53	55	52	51	52.7
2	Timbang 0.8 gram *sample plant* atau *mining*	14	17	17	16	17	18	15	12	15	13	14	17	15.4
3	Timbang 8 gram bubuk *flux fusion*	12	14	11	12	11	14	15	13	12	10	12	12	12.3
4	Aduk 40 kali campuran *sample* dan *flux fusion* sampai tercampur merata dan tuangkan ke cawan platina	15	15	14	17	15	13	12	18	19	16	16	14	15.3
5	fuse	448	440	430	449	458	458	456	453	452	442	438	424	445.7
6	analisa di XRAY dan Leco	1140	1120	1130	1117	1119	1120	1121	1100	1118	1114	1130	1145	1122.8
7	Pelaporan	65	60	66	58	57	62	62	63	68	65	64	58	62.3

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN NPV, IRR, DAN PAYBACK PERIODE

Net Present Value Estimate

Benefits are positive cash flows, costs are negative.

All figures in $US thousands (real terms - no inflation)		*Total*	2021 Year 0	2022 Year 1	2023 Year 2	2024 Year 3	2025 Year 4	2026 Year 5	2027 Year 6	2028 Year 7	2029 Year 8	2030 Year 9	2031 Year 10
Prior periods (sunk) capital		*$0.0*											
Initial and Sustaining CapEx	*$US (x000)*	*($759.0)*	($759.0)	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0
Total Case-Specific Incremental Costs and Benefits													
Additional Revenue (positive)	*$US (x000)*	*$0.0*	$0.0										
Incremental Operating costs (negative)	*$US (x000)*	*$0.0*	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0
Cost savings (positive if relevant)	*$US (x000)*	*$0.0*	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0	$0.0
Net Incremental Benefits		***$22,416.0***	***$0.0***	***$2,241.6***	***$2,241.6***	***$2,241.6***	***$2,241.6***	***$2,241.6***	***$2,241.6***	***$2,241.6***	***$2,241.6***	***$2,241.6***	***$2,241.6***
Net Pre-Tax Cash Flow	*$US (x000)*	*$21,657.0*	($759.0)	$2,241.6	$2,241.6	$2,241.6	$2,241.6	$2,241.6	$2,241.6	$2,241.6	$2,241.6	$2,241.6	$2,241.6
Assumed Tax Rate			25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Cash Taxes		*($5,604.0)*	$0.0	($560.4)	($560.4)	($560.4)	($560.4)	($560.4)	($560.4)	($560.4)	($560.4)	($560.4)	($560.4)
Assumed Cash Tax Depreciation	*$US (x000)*	*$759.0*	$0.0	$94.9	$83.0	$72.6	$63.6	$55.6	$48.7	$42.6	$37.3	$32.6	$28.5
Remaining Depreciation	*$US (x000)*	*$0.0*											
Tax provision on depreciation	*$US (x000)*	*$189.8*	$0.0	$23.7	$20.8	$18.2	$15.9	$13.9	$12.2	$10.6	$9.3	$8.1	$7.1
NET Cash Flow after tax	$US (x000)	*$16,242.8*	**($759.0)**	**$1,704.9**	**$1,702.0**	**$1,699.4**	**$1,697.1**	**$1,695.1**	**$1,693.4**	**$1,691.8**	**$1,690.5**	**$1,689.3**	**$1,688.3**
PV discount factor @:	7.5%		96%	90%	83%	78%	72%	67%	62%	58%	54%	50%	47%
DISCOUNTED CASH FLOW	*$US (x000)*		($732.0)	$1,529.6	$1,420.5	$1,319.3	$1,225.7	$1,138.8	$1,058.3	$983.6	$914.2	$849.8	$790.1
Accumulative cash flow			(759.0)	946	2,648	4,347	6,044	7,739	9,433	11,125	12,815	14,505	16,193
payback calculation purpose only (do not delete)				0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Net Present Value (NPV) in $US (mio)	**$10,516**	***@ 7.5% mid-year discounting in Jan 1,2019 dollars***
Internal Rate of Return (IRR)	**224.5%**	***assuming end of year discounting***
Undiscounted Payback Period	**0.45**	
Investment Present Value (IPV) in $US (x000)	**($732.0)**	***@ 7.5% mid-year discounting in Jan 1,2019 dollars***

LAMPIRAN E

ANALISA SENSITIVITAS BIAYA INVESTASI, DISCOUNT FACTOR, DAN BENEFIT COST

Increase/decrease	Investment Cost			Discount Factor			Benefit cost tahun ke-10	
	Kenaikan	65%	25%	Kenaikan	9%	25%		
		493.35	189.75		0.04875	0.01875		
	Invest	NPV		Discount rate	NPV		Benefit cost (k$)	NPV (k$)
-100%	0	2383		1.50%	2676		5868.87	3286
-75%	189.75	2200		3.00%	2367		4703.90	2878
-50%	379.5	2017		4.50%	2096		3538.93	2469
-25%	569.25	1834		6.00%	1859		2373.97	2060
0	759	1651		7.50%	1651		1209.00	1651
65%	1252.35	1175		11.83%	1175		44.03	1242
130%	1745.7	699		22.77%	481		-1120.93	833
195%	2239.05	223		34.15%	133		-2285.90	424
225.5%	2471	0		41.65%	0		-3494.90	0