



UNIVERSITAS PERTAHANAN

**MODEL SIMULASI TATA LETAK PABRIK PENGELOLAAN
PASIR BESI MENJADI BESI SPON UNTUK BAHAN BAKU BAJA
DI INDUSTRI PERTAHANAN MODEL INDUSTRI 4.0 (i4.0)**

**RIYADI JUHANA
NIM: 120170401013**

Tesis yang ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam
mendapatkan Gelar Magister Pertahanan

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN
PROGRAM STUDI INDUSTRI PERTAHANAN**

**BOGOR
JANUARI 2019**

LEMBAR PERSETUJUAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Riyadi Juhana
NIM : 120170401013
Program Studi : Industri Pertahanan
Judul Tesis : Model Simulasi Tata Letak Pabrik Pengelolaan Pasir Besi Menjadi Besi Spon Untuk Bahan Baku Baja di Industri Pertahanan Model Industri 4.0 (i4.0)

Tesis dengan judul dan atas nama mahasiswa tersebut diatas telah disetujui untuk dapat diujikan sebagai bagian dari untuk memperoleh gelar Magister Pertahanan (M.Han) pada Program Studi Industri Pertahanan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Indonesia.

DOSEN PEMBIMBING

Pembimbing 1: Romie Oktovianus Bura, BEng (Hons),
MRAeS., Ph.D. (.....)

Pembimbing 2: Kolonel Kes Dr. Sovian Aritonang, S.Si.,
M.Si. (.....)

Sentul-Bogor, Januari 2019

Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan

Romie Oktovianus Bura, BEng (Hons), MRAeS., Ph.D
Penata Tk. I III/d NIP 197310062006041001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, sub-bab, atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis di rujuk dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam tesis ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan dan undang-undang yang berlaku

Bogor, Januari 2019

Riyadi Juhana

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Pertahanan Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Riyadi Juhana
NIM : 120170401013
Program Studi : Industri Pertahanan
Fakultas : Teknologi Pertahanan
Jenis Karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Indonesia **Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya berjudul:

MODEL SIMULASI TATA LETAK PABRIK PENGELOLAAN PASIR
BESI MENJADI BESI SPON UNTUK BAHAN BAKU BAJA
DI INDUSTRI PERTAHANAN MODEL INDUSTRI 4.0 (I4.0)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini, Universitas Pertahanan Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta/Karya intelektual dari tesis ini

Demikian pernyataan ini saya buat dengan kesadaran penuh tanpa paksaan dari pihak manapun.

Bogor, Januari 2019

Riyadi Juhana

ABSTRAK

MODEL SIMULASI TATA LETAK PABRIK PENGELOLAAN PASIR BESI MENJADI BESI SPONGE UNTUK BAHAN BAKU BAJA DI INDUSTRI PERTAHANAN MODEL INDUSTRI 4.0 (i4.0)

RIYADI JUHANA

Industri 4.0 adalah industri yang menggabungkan teknologi otomatisasi dengan teknologi *cyber*. Ini merupakan tren otomatisasi dan pertukaran data dalam teknologi manufaktur, dan sistem *cyber-fisik*, *Internet of Things* (IoT), komputasi awan (*cloud computing*) dan komputasi kognitif (*cognitive computing*). Salah satunya kemandirian pasokan material plat baja yang digunakan sebagai material utama dalam pembuatan alpalhankam, yang bahan utama yaitu besi pellet/besi *sponge* yang terbuat dari pasir besi, yang selama ini masih impor dari Brazil dan Chile ini dilakukan oleh PT Krakatau Steel. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka perlu terobosan baru dibidang penelitian dan pengembangan berupa model simulasi dari integrasi teknologi tata letak pabrik, smart factory, dan lean manufacturing pada pengelolaan pasir besi menjadi besi pellet/besi sponge model industri 4.0. Sebelum dibuat model simulasi, berupa model simulasi tata letak pabrik industri 4.0, terlebih dahulu dilakukan eksperimen pembuatan besi pellet/besi *sponge* dengan bahan pasir besi lokal (skala laboratorium) selanjutnya dilakukan analisis kimia untuk mengetahui kadar ferrum (Fe) dalam pasir besi. Model simulasi tata letak pabrik industri 4.0 yang dibuat hanya model proses produksi yang terdapat dilintasan produksi yaitu mengintegrasikan konsep *smart factory*, konsep *lean manufacturing*, serta konsep teknologi tata letak (*smart layout*) dalam proses pembuatan besi. Hasil dari penelitian ini berupa besi pellet/besi spon yang mempunyai kadar ferrum (Fe) sebesar 60,44% dan Fe_2O_3 sebesar 86,34% yang layak dijadi besi pellet. Selain itu hasil dari simulasi dari model yang dibuat berupa nilai produktivitas tata letak yaitu nilai produktivitas tata letak awal untuk Departemen Preparasi sebesar 94,14%, Departemen Proses sebesar 91,50%, Departemen Finishing sebesar 86,75%. Nilai Produktivitas tata letak hasil perbaikan yaitu Departemen Preparasi sebesar 99,62%, Departemen Proses sebesar 99,44% serta Departemen Finishing sebesar 99,14%. Sehingga ada nilai peningkatan produktivitas sebesar 5,49% sampai dengan 12,87% tergantung departemennya. Perbedaan nilai produktivitas antara tata letak awal dengan tata letak hasil perbaikan disebabkan oleh jarak perpindahan antar mesin dan desain tata letak. Jarak antar mesin di tata letak perbaikan lebih pendek dibanding tata letak awal, sedang untuk desain tata letak hasil perbaikan lebih optimal dan lebih *lean* dibanding dengan tata letak awal.

Kata Kunci: tata letak, model simulasi, pasir besi, besi sponge, *smart factory*, *lean manufacturing*

ABSTRACT

SIMULATION MODEL OF LAYOUT IRON SAND MANAGEMENT INTO IRON SPONGE FOR STEEL RAW MATERIAL IN DEFENSE INDUSTRI BASE ON INDUSTRI 4.0 MODEL.

RIYADI JUHANA

The Industry 4.0 is an industry that combines automation technology with cyber technology. This is a trend of data automation and exchange in manufacturing technology. As well as cyber-physical systems (CPS), Internet of Things (IoT), cloud computing (cloud computing) and cognitive (cognitive computing) computing. One of them is the independence of the supply of steel plate material which is used as the main material in the manufacture of steel sheets, the main material of which is iron pellets made of iron sand, which has been imported from Brazil and Chile so far by PT Krakatau Steel. To overcome these problems, a new breakthrough is needed in the field of research and development in the form of a simulation model of the integration of factory layout technology, smart factory, and lean manufacturing in the management of iron sand into pellets Iron/sponge iron industrial 4.0 models. Before of simulation model is implemented, in the form of industrial factory layout simulation model 4.0, it was first conducted an experiment to make iron pellets / sponge iron with local iron sand material (laboratory scale) and then carried out a chemical analysis to determine the levels of ferrum (Fe) in iron sand. Industrial 4.0 factory layout simulation model made only the production process model contained in the production path, which integrates the concept of smart factory, lean manufacturing concept, and the concept of smart layout in the iron making process. The results of this study were iron pellets / iron sponges which had ferrum (Fe) levels of 60.44% and Fe_2O_3 of 86.34% which were feasible to be pellet iron. In addition, the results of the simulation of the model made in the form of layout productivity values, namely the initial layout productivity value for the Preparation Department of 94.14%, the Process Department of 91.50%, the Finishing Department of 86.75%. The productivity value of the layout of the results of improvement is Preparation Department of 99.62%, Process Department of 99.44% and Finishing Department of 99.14%. So that there is a value of productivity increase of 5.49% to 12.87% depending on the department. The difference in productivity value between the initial layout and the layout of the repair results is caused by the displacement distance between machines and layout design. The distance between the machines in the repair layout is shorter than the initial layout, while the layout design results more of optimum and more of lean improvements compared to the initial layout.

Keywords: *layout, simulation model, iron sand, sponge iron, smart factory, lean manufacturing*

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala nikmat dan karunia-Nya. Sehingga penulis bisa menyelesaikan Tesis yang berjudul **“MODEL SIMULASI TATA LETAK PABRIK PENGELOLAAN PASIR BESI MENJADI BESI SPON UNTUK KEMANDIRIAN BAHAN BAKU BAJA DI INDUSTRI PERTAHANAN MODEL INDUSTRI 4.0 (i4.0)”**

Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapat Gelar Magister pada Program Studi Industri Pertahanan Pertahanan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran beserta kritik dalam pengembangan tesis ini.

Penyusunan tesis ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Letjen TNI Dr. Tri Legionosuko, S.IP., M.AP., Selaku Rektor Universitas Pertahanan.
2. Bapak Romie Oktovianus Bura, BEng (Hons)., MRAeS., Ph.D. Sebagai Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan, dan juga Selaku Pembimbing I.
3. Bapak Kolonel Kes Dr. Sovian Aritonang, S.Si., M.Si. Sebagai Sesprodi Teknologi Daya Gerak, dan juga Selaku pembimbing II.
4. Bapak Kolonel Sus Drs. Khaerudin, M.M. Sebagai Sesprodi Industri Pertahanan.
5. Para dosen di Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan.
6. Keluargaku. Mamah, Kakak-kakak, istri dan anakku tersayang (Ram dan Salma) yang telah dukungan serta doa yang tulus untuk penulis dalam menyelesaikan studi dan tesis ini.
7. Rekan Mahasiswa Cohort 2 Program Studi Industri Pertahanan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan.

8. Bapak Mayor Chk Yayang Bakhtiar, S.H., M.H, Sebagai rekan seperjuangan di Cohort 2 Program Studi Industri Pertahanan, yang telah banyak membantu selama studi dan penyelesaian tesis ini.
9. Bapak Mayor Chb Joko Pitono, S.ST., S.Sos., M.M. sebagai teman Mess 207, dan rekan di Cohort 2 Program Studi Industri Pertahanan.
10. Bapak Koko Pujianto, A.Md, Selaku Staf Administrasi Program Studi Industri Pertahanan, yang telah banyak membantu selama menyelesaikan studi.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran berserta kritik yang membangun dalam pengembangan penelitian selanjutnya. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Sentul-Bogor, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBRLIKASI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Pertanyaan Penelitian	9
1.4 Tujuan Penelitian.....	9
1.5 Manfaat Penelitian.....	10
1.5.1 Manfaat Teoritik.....	10
1.5.2 Manfaat Praktis	10
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	11
2.1 Perhitungan Cadangan Sumber Daya Pasir Besi.....	11
2.2 Proses Pengolahan Pasir Besi Menjadi Besi <i>Sponge</i>	15
2.3 Konsep <i>Lean Manufacture</i>	17
2.4 Konsep Simulasi.....	18
2.4.1 Pemodelan Sistem dan Simulasi.....	19
2.4.2 Klasifikasi Model Simulasi	20
2.5 Konsep Industri 4.0	21
2.6 Konsep Tata Letak Fasilitas	24

2.6.1 Cellular Layout	25
2.6.2 Modular Layout.....	26
2.6.3 <i>Algoritma Computerized Relative Allocation Facility Technique (CRAFT)</i>	27
2.7 Pengukuran Waktu Proses.....	27
2.8 Posisi Penelitian.....	33
2.9 Penelitian Terdahulu	34
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	40
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.1.1 Tempat Penelitian	40
3.1.2 Waktu Penelitian	40
3.2 Data Penelitian.....	41
3.3 Peralatan Penelitian	42
3.4 Material Penelitian.....	43
3.5 Metodologi Penelitian	43
3.5.1 Tahap Identifikasi dan Verifikasi Masalah	45
3.5.2 Tahap Penentuan Metode Penelitian	45
3.5.3 Tahap Perencanaan dan Desain Model	46
3.5.4 Tahap Data Analisis dan Pembahasan	46
3.5.5 Tahap Kesimpulan dan Saran	47
BAB 4 DATA ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1 Data Analisis	48
4.1.1 Perencanaan dan Perancangan Model Simulasi Usulan	48
4.1.2 Verifikasi dan Validasi	77
4.1.3 Perencanaan dan Perancangan Model Simulasi Perbaikan	78
4.2 Pembahasan	91
4.2.1 Analisis Hasil Penelitian	92
4.2.2 Analisis Penerapan Konsep Industri 4.0 (i4.0).....	95

4.2.3 Analisis dan Pembahasan Industri 4.0 diterapkan pada Industri Besi Pellet/Besi <i>Sponge</i>	95
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	97
5.1 Kesimpulan	97
5.2 Saran.....	97
DAFTAR PUSTAKA.....	99
LAMPIRAN.....	104

DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

	Halaman
Gambar 1.1	11
Gambar 1.2	4
Gambar 2.1	16
Gambar 2.2	20
Gambar 2.3	21
Gambar 2.4	24
Gambar 2.5	26
Gambar 2.6	32
Gambar 2.7	34
Gambar 3.1	44
Gambar 4.1	49
Gambar 4.2	50
Gambar 4.3	50
Gambar 4.4	51
Gambar 4.5	51
Gambar 4.6	52
Gambar 4.7	53
Gambar 4.8	53
Gambar 4.9	54

Gambar 4.10	Model Simulasi <i>Software Flexsim</i> 2018 Tata Letak Departemen Preparasi Pabrik Besi Pellet/ Spon Industri 4.0	62
Gambar 4.11	Model Simulasi <i>Software Flexsim</i> 2018 untuk Tata Letak Departemen Proses Part-1 Pabrik Besi Pellet/Spon Industri 4.0	63
Gambar 4.12	Model Simulasi <i>Software Flexsim</i> 2018 untuk Tata Letak Departemen Proses Part-2 Pabrik Besi Pellet/Spon Industri 4.0	63
Gambar 4.13	Model Simulasi <i>Software Flexsim</i> 2018 untuk Tata Letak Departemen Packaging Pabrik Besi Pellet/Spon Industri 4.0	64
Gambar 4.14	Diagram Kontrol Waktu Proses Stockpile	65
Gambar 4.15	Diagram Kontrol Waktu Proses Screen 3	66
Gambar 4.16	Diagram Kontrol Waktu Proses Separator	67
Gambar 4.17	Diagram Kontrol Waktu Proses Screen 2.....	68
Gambar 4.18	Diagram Kontrol Waktu Proses Screen 1.....	69
Gambar 4.19	Diagram Kontrol Waktu Proses Mixing 1.....	70
Gambar 4.20	Diagram Kontrol Waktu Proses Mixing 2.....	71
Gambar 4.21	Diagram Kontrol Waktu Proses Cetak.....	72
Gambar 4.22	Diagram Kontrol Waktu Proses Oven Pellet	73
Gambar 4.23	Diagram Kontrol Waktu Proses Oven Sponge	74
Gambar 4.24	Diagram Control Waktu Proses Packaging	75
Gambar 4.25	Diagram Control Waktu Proses Warehouse	76
Gambar 4.26	Grafik Nilai Uji Laboratorium	81
Gambar 4.27	Hubungan dan Integrasi Antar Konsep	85
Gambar 4.28	Tata Letak Hasil Perbaikan Algoritma CRAFT	87
Gambar 4.29	Model Simulasi Hasil Perbaikan Departemen Preparasi Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi Sponge Industri 4.0 ...	89
Gambar 4.30	Model Simulasi Hasil Perbaikan Departemen Proses Part-1 Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi Sponge Industri 4.0 ...	89

Gambar 4.31 Model Simulasi Hasil Perbaikan Departemen Proses Part-2
Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi Sponge Industri 4.0 ... 90

Gambar 4.32 Model Simulasi Hasil Perbaikan Departemen Finishing
Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi Sponge Industri 4.0 ... 90

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Perbedaan i1.0 sampai i4.0	2
Tabel 1.2 Kebutuhan Material Untuk Produksi Baja 2,5 juta ton/tahun sebelum dan selama tahun 2000an PT. KS	5
Tabel 1.3 Perusahaan Pengolahan Pasir Besi	7
Tabel 2.1 Klasifikasi Sumberdaya dan Cadangan Pasir besi SNI 13-6011-1999.....	13
Tabel 2.2 Nilai Tingkat Keyakinan.....	32
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu Tentang Pasir Besi	35
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu Tentang Tata Letak	36
Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu Tentang <i>Lean Manufacturing</i>	37
Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu Tentang Model Simulasi	38
Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu Tentang Industri 4.0	39
Tabel 3.1 Jadwal Waktu Penelitian	41
Tabel 4.1 Hasil Uji Kimia Contoh pasir besi dan Besi Pellet/ Besi Spon.....	55
Tabel 4.2 Persyaratan dari Industri 4.0 (i4.0) untuk <i>Smart Factory</i>	57
Tabel 4.3 Persyaratan dari Industri 4.0 (i4.0) untuk <i>Lean Manufacturing</i>	58
Tabel 4.4 Perencanaan Kebutuhan Utilitas dan Mesin Pabrik Besi Pellet	59
Tabel 4.5 Perhitungan Luas Lantai Tata Letak Pabrik Besi Spon	61
Tabel 4.6 Waktu Proses Hasil Simulasi Stockpile	65
Tabel 4.7 Waktu Proses Hasil Simulasi Screen 3	66
Tabel 4.8 Waktu Proses Hasil Simulasi Separator.....	67
Tabel 4.9 Waktu Proses Hasil Simulasi Screen 2	68
Tabel 4.10 Waktu Proses Hasil Simulasi Screen 1	69
Tabel 4.11 Waktu Proses Hasil Simulasi Mixing 1	70
Tabel 4.12 Waktu Proses Hasil Simulasi Mixing 2	71

Tabel 4.13 Waktu Proses Hasil Simulasi Cetak	72
Tabel 4.14 Waktu Proses Hasil Simulasi Oven Pellet.....	73
Tabel 4.15 Waktu Proses Hasil Simulasi Oven <i>Sponge</i>	74
Tabel 4.16 Waktu Proses Hasil Simulasi Packaging.....	75
Tabel 4.17 Waktu Proses Hasil Simulasi Warehouse	76
Tabel 4.18 Nilai Produktivitas Pabrik Besi Pellet/Spon kapasitas 200 ton per hari berdasarkan Hasil Simulasi.....	77
Tabel 4.19 Perbandingan hasil uji laboratorium sampel A-1 dan A-2	82
Tabel 4.20 Hasi pemilahan Persyaratan Smart Factory untuk Perencanaan dan Perancangan Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi Spon.....	83
Tabel 4.21 Ongkos Antar Mesin/Departemen (meter)	86
Tabel 4.22 Frekuensi Perpindahan Proses Antar Mesin/Departemen	86
Tabel 4.23 Luas dan Titik Koordinat Maesin/Departemen	88
Tabel 4.24 Nilai Produktivitas Pabrik Besi Pellet/Spon kapasitas 200 ton per hari berdasarkan Model Simulasi Hasil Perbaikan.....	91
Tabel 4.25 Perbandingan Nilai Produktivitas dari Model Awal dengan Model Perbaikan	92

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A: Laporan Pengujian A-1	105
Lampiran B: Test Result A-1	106
Lampiran C: Laporan Pengujian A-2.....	107
Lampiran D: Test Result A-2.....	108
Lampiran E: Laporan Pengujian A-3.....	109
Lampiran F: Test Result A-3	110
Lampiran G: Laporan Pengujian A-4.....	111
Lampiran H: Test Result A-4.....	112
Lampiran I: Laporan Pengujian A-5	113
Lampiran J: Test Result A-5.....	114
Lampiran K: Surat Tugas Penelitian	115
Lampiran L: Desain Awal Tata Letak Pabrik Besi Sponge Model Industri 4.0 (i4.0)	116

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama Pemakaian	Pertama kali Pada halaman
IoT	<i>Internet of Things</i>	1
i4.0	Industri 4.0.....	1
i3.0	Industri 3.0.....	2
i2.0	Industri 2.0.....	2
i1.0	Industri 1.0	2
CNC	Computerized Numerical Control.....	3
PMDN	Penanaman Modal Dalam Negeri.....	7
PMA	Penanaman Modal Asing	7
DRI	<i>Directly Reducefd Iron</i>	15
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>	21
IoT	Internet of Things	21
3D	Tiga Dimensi.....	21
CRAFT	<i>Computerized Relative Allocation Facility Technique</i>	27
BKA	Batas Kendali Atas	30
BKB	Batas Kendali Bawah	30
ALDEP	Automated Layout Design Program.....	36
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>	37
DES	<i>Discrete-Event Simulation</i>	38
SBO	<i>Simulation Based Optimization</i>	38
SNI	Standar Nasional Indonesia	48
B4T	Balai Besar Bahan dan Barang Teknik.....	55
ASTM	American Society of Mechanical Engineering	55
JIT	<i>Just In Time</i>	58
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>	58
SPC	<i>Statistical Process Control</i>	58
OMH	Ongkos Material Handling	85

LAMBANG

C	Sumber Daya dalam ton.....	13
L	Luas Daerah Pengaruh dalam m ²	13
t	Tebal rata-rata endapan pasir besi dalam meter.....	13
MD	Prosentase kemagnetan dalam %.....	13
SG	Berat jenis dalam ton/m ³	13
N	Jumlah Pengamatan.....	28
k	Jumlah <i>Sub Group</i>	28
\bar{X}	Nilai Rata-rata <i>Sub Group</i>	29
$\Sigma \bar{X}_i$	Jumlah Rata-rata <i>Sub Group</i>	29
σ	Standar Deviasi	30
X_i	Data ke-i	30
\bar{X}	Nilai Rata-rata.....	30
σ_x	Standar Deviasi dari nilai rata-rata <i>Sub Group</i>	30
n	Banyaknya data setiap <i>Sub Group</i>	30
$K = Z\alpha/2$	Nilai Tingkat Keyakinan	30
N'	Jumlah pengukuran yang diperlukan.....	31
s	Tingkat Ketelitian	31
ΣX_i	Jumlah Waktu Siklus	31

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Revolusi industri 4.0 (i4.0) merupakan tahap ke-4 dalam sejarah revolusi industri yang dimulai pada abad ke-18, yang ditandai dengan penemuan mesin uap untuk mendukung mesin produksi, kereta api dan kapal layar.

Industri 4.0 adalah industri yang menggabungkan teknologi otomatisasi dengan teknologi *cyber*. Ini merupakan tren otomatisasi dan pertukaran data dalam teknologi manufaktur. Ini termasuk sistem *cyber-fisik*, *Internet of Things* (IoT), komputasi awan (*cloud computing*) dan komputasi kognitif (*cognitive computing*).

Seperti pada penjelasan definisi Industri 4.0 sebagai lanjutan dari industri 3.0 yang menambahkan instrumen konektivitas untuk memperoleh dan mengolah data, otomatisasi perangkat jaringan, IoT, *big data analytics*, komputasi awan dan keamanan cyber merupakan komponen utama dalam industri 4.0.



Gambar 1.1 Sebelas Pilar Teknologi Industri 4.0 (i4.0)¹

¹ PSDC, 2017. Restructuring Existing Workforce Towards Higher-skilled Workers Industry 4.0: Centre of Excellence Leading Factory and Future, Hal.7

Era industri 4.0 merupakan era perubahan bagaimana cara pandang melihat suatu industri dengan sumber daya yang dimilikinya beroperasi sesuai dengan kebutuhan. Industri 4.0 (i4.0) sangat berbeda dengan era industri sebelumnya yaitu era industri 3.0 (i3.0). Adapun penjelasan, rintisari, serta perbedaan revolusi industri 1.0, 2.0, 3.0, dan 4.0 dapat dilihat pada Tabel 1.1 dibawah.

Tabel 1.1 Perbedaan i1.0 sampai i4.0

Revolusi		Data Sources	Atribut	Teknologi
Industri 1.0 (i1.0)	Komponen	<i>Sensor</i>	Ide close loop - Penemuan mesin uap Munculnya konsep Servomekanik).	Permesinan
	Mesin	<i>Controller</i>	Mekanisasi, Kendali close loop pneumatik dan hidrolis	Relai dan saklar analog, Assembly line, Servomekanik /motor
	Metode	<i>Intergration</i>	Kendali Manual	Manusia
	Sistem Produksi	<i>Sistem Jaringan</i>	Penggantian tenaga manusia oleh tenaga mesin dan peralatan.	Mass Production
Industri 2.0 (i2.0)	Komponen	<i>Sensor</i>	Penemuan metode penyimpanan data "punch card" ·Mesin Numerical Control	<i>Computerize system</i>
	Mesin	<i>Controller</i>	Mesin-mesin Numerical Control	<i>Computer Numerical Control (CNC)</i>
	Metode	<i>Intergration</i>	Kendali proses permesinan berbasis komputer digital elektromekanik (punch card).	Komputer elektronik solid state.
	Sistem Produksi	<i>Sistem Jaringan</i>	Automatic repeating cycle.	

Sumber: Prasetyo, 2017.²

² Prasetyo, 2017. Perkembangan Keilmuan Teknik Industri Menuju Era Industri 4.0, Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2017 ISSN: 2579-6429 Surakarta, 8-9 Mei 2017 Hal. 491

Tabel 1.1 Perbedaan i1.0 sampai i4.0 (Lanjutan)

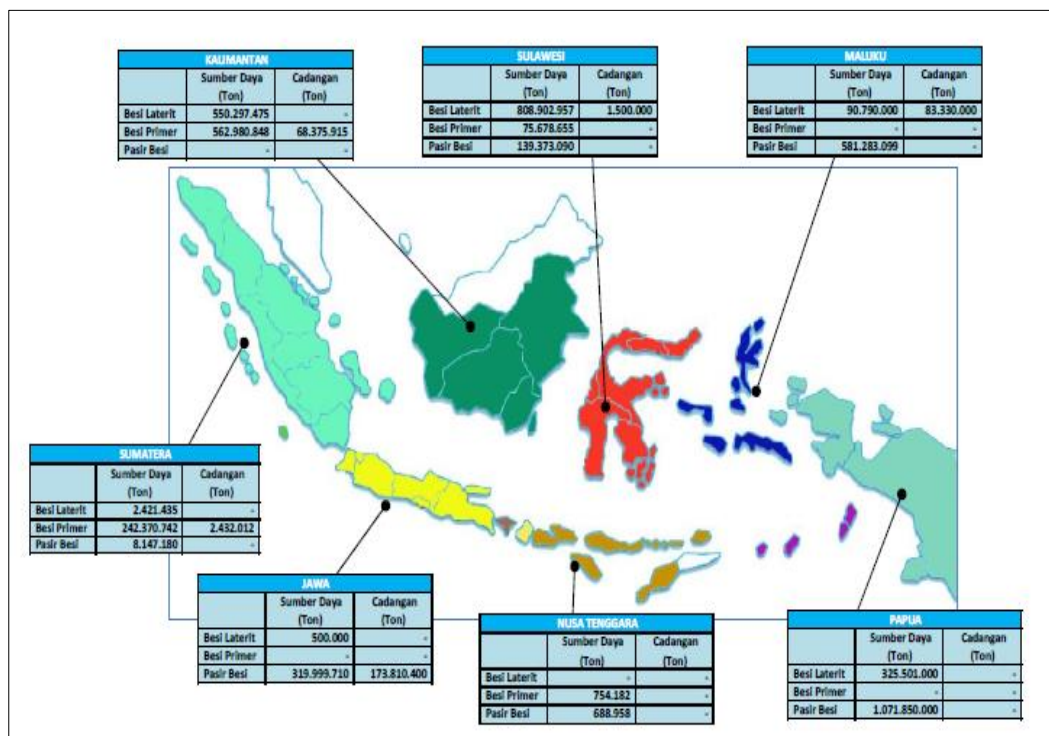
Revolusi		Data Sources	Atribut	Teknologi
Industri 3.0 (i3.0)	Komponen	<i>Sensor</i>	<i>Precision</i>	<i>Smart Sensors and Fault detection</i>
	Mesin	<i>Controller</i>	<i>Productivity & Performance</i>	<i>Condition-based Monitoring Diagnostics</i>
	Metode	<i>Intergration</i>	<i>Acuration & Precision</i>	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
	Sistem Produksi	<i>Sistem Jaringan</i>	<i>Acuration & Precision</i>	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
Industri 4.0 (i4.0)	Komponen	<i>Sensor</i>	<i>Self Aware Self Predict</i>	<i>Degradation Monitoring & Remaining Useful Life Prediction</i>
	Mesin	<i>Controller</i>	<i>Self Aware Self Predict Self Compare</i>	<i>Up Time with Prective Health Monitoring</i>
	Metode	<i>Intergration</i>	<i>Autonomous Quality</i>	<i>Smart Manufacturing</i>
	Sistem Produksi	<i>Sistem Jaringan</i>	<i>Self Cofigure Self Maintain Self Organize</i>	<i>Worry free productivity</i>

Melihat perbedaan i1.0 sampai i4.0, jika dikaitkan dengan keberadaan industri pertahanan di Indonesia, apakah masuk i3.0 atau i4.0?. Melihat persyaratan i3.0 dan i4.0 berdasarkan atribut dan teknologi yang harus diterapkan, pada saat ini dilihat atribut dan teknologi yang terapkan industri pertahanan di indonesia belum memenuhi ke atribut dan teknologi i3.0, apalagi masuk ke atribut dan teknologi i4.0

Berdasarkan analisis dan fakta di lapangan industri pertahanan di Indonesia sebagian kecil baru dapat menembus atribut dan teknologi industri 2.0 (i2.0). Ini menjadi permasalahan yang dihadapi oleh industri pertahanan di Indonesia untuk menuju kemandirian. Sebagai contoh PT. Pindad (Persero) untuk memproduksi selongsong peluru masih

menggunakan mesin-mesin teknologi *computerized numerical control* (CNC).

Industri baja merupakan salah satu untuk mendukung kemandirian industri pertahanan di Indonesia, khususnya untuk kemandirian bahan baku. Dengan potensi bahan baku baja yang melimpah yaitu memiliki potensi bahan tambang pasir besi yang melimpah, ini dapat dilihat dari Gambar 1.2 menyajikan sebaran lokasi dan cadangan pasir besi di seluruh wilayah Indonesia. Pasir dan biji besi adalah bahan dasar dalam pembuatan besi pellet/besi *sponge* untuk bahan baku baja.



Sumber: Pusat Sumber Daya Geologi, 2012 (diolah)

Gambar 1.2 Sebaran Sumber Daya dan Cadangan Mineral Besi di Wilayah Indonesia

Disamping kuantitas, maka kualitas sumberdays pasir besi yang dimiliki oleh indonesia sesuai dengan Gambar 1.2 mempunyai kadar Fe (Ferrum): 34-59% dan TiO_2 : 5,4 – 23,17% .

Menurut data dari Pusat Sumber Daya Geologi pada tahun 2012 Indonesia sangat kaya akan sumber daya dan cadangan mineral besi.³ Kekayaan sumber daya ini merupakan keuntungan yang dimiliki oleh bangsa kita apabila dapat diolah menjadi produk siap pakai, dalam hal ini baja. Namun dengan fakta tersebut ternyata belum ada perusahaan pengolah pasir besi menjadi besi spon yang memiliki kandungan biji besi diatas 60%.⁴, hal ini dapat ditemukan masih didatangkannya bahan baku besi pellet dari Brazil dan Chille oleh pabrik baja PT Krakatau Steel (PT. KS).

Tabel 1.2 Kebutuhan Material Untuk Produksi Baja 2,5 juta ton/tahun sebelum dan selama tahun 2000an PT. KS.⁵

Material	Kebutuhan (ton)	Sumber
Pellet bijih besi	3.500.000	Swedia, Chille, Brazil
Besi Skrap	1.700.000	Eropa, Lokal
Refraktori	39.000	China
Kapur bakar	250.000	Lokal
Bahan imbuah: FeSi, FeMn, SiMn	12.750	China
Elektroda	6.500	China
Aluminium	8.000	Lokal
Coke breeze	37.500	China

Berdasarkan data pada Gambar 1.2, menunjukkan sumber daya pasir besi di Indonesia sangat banyak. Tetapi dilihat dari cadangan yang akan dieksploitasi sangat rendah. Kondisi tersebut karena kebijakan dan regulasi dari izin penambangan, harus tingkat provinsi yaitu Kepala Dinas ESDM, dan Tingkat Nasional yaitu Dirjen Minerba, tidak lagi dikelola oleh tingkatan kabupaten atau kota.

Potret produksi plat baja dalam negeri dapat dilihat dari kemampuan produksi baja dua perusahaan baja nasional yaitu PT Krakatau Steel dan PT Krakatau Posco. Kedua perusahaan baja tersebut saat ini memproduksi

³ Kementerian Perindustrian, 2014, Profil industri baja, Hal. 11

⁴ PT. Krakatau Steel, 2018, Hal. 40

⁵ Pusat Sumber Daya Geologi, 2014. Pasir Besi di Indonesia Geologi, Eksplorasi dan Pemanfaatannya, hal. 64

plat baja dengan kapasitas, untuk Krakatau Steel sekitar 2000 - 3000 ton per bulan atau hingga mencapai 24.000 – 36.000 ton per tahun. Angka pasokan dari dalam negeri tersebut masih jauh dibawah kebutuhan plat baja yang diperlukan untuk membangun kapal baru yang mencapai 900.000 ton tiap tahunnya.⁶

Kebutuhan bahan baku pembuatan plat baja dari PT. Krakatau Steel adalah berupa besi spon dalam bentuk pelet besi dengan kandungan biji besi pada kisaran angka diatas 60%.⁷ Saat ini kebutuhan pelet besi dengan kandungan biji besi diatas 60% tersebut masih didatangkan dari luar negeri. Kondisi ini menjadi salah satu faktor yang menyebabkan belum bersaingnya industri baja nasional dibandingkan produk dari luar negeri, karena pembelian bahan baku besi spon dari luar negeri ini masih dikenai bea masuk. Sementara itu jika mengandalkan pasokan besi spon dalam negeri yang diproduksi oleh PT.Meratus Jaya Iron and Steel hanya memiliki kadar besi pada kisaran angka 40%⁸.

Kondisi pengelolaan pasir besi sebenarnya telah diantisipasi oleh ada beberapa perusahaan penambangan yang telah resmi terdaftar di Ditjen Minerba. Namun demikian tidak diikuti oleh perusahaan proses pengolahan pasir besi menjadi besi spon dirasa masih memerlukan penanganan professional dan investasi yang relatif mahal. Apalagi sejak lahirnya Peraturan Menteri ESDM No. 7 Tahun 2012 tentang peningkatan nilai tambah mineral melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral, bahwa para pemilik/pengusaha tambang tidak diperbolehkan lagi mengekspor berupa bahan mentah/*raw material*, menjadikan perusahaan-perusahaan dalam dilema bisnis.

Kondisi tersebut merupakan peluang untuk mengembangkan perusahaan bahan baku industri pertahanan, yaitu pengolahan proses pasir besi menjadi besi spon, karena persaingan untuk produk besi spon masih

⁶ Kementerian Perindustrian, 2014, Profil industri baja, Hal. 31

⁷ PT. Krakatau Steel, 2018, 50

⁸ Loc.cit

rendah hal ini dibuktikan dengan hanya ada 2 (dua) perusahaan pengelolaan pasir besi menjadi besi spon yang dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Perusahaan Pengolaan Pasir Besi

No.	Perusahaan	Lokasi	Kapasitas Produksi (ton)	Investasi
1.	PT. Meratus Jaya Iron & Steel	Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan	315.000,00	PMDN
2.	PT. Delta Prima Steel	Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan	100.000,00	PMA

Sumber: Buku Pasir Besi di Indoensia, 2014, Badan Geologi

Mengantisipasi era Industri 4.0 (i4.0), penguasaan teknologi yang mendukung kemandirian bahan baku untuk mendukung kemandirian industri pertahanan untuk alutsista, kemandirian penyediaan bahan baku baja untuk industri pertahanan sangatlah penting dan tidak boleh ditawar lagi, dengan fakta bahwa kemampuan industri pertahanan di Indonesia, sangat minim sebagai contoh galangan kapal yang hanya mampu memenuhi $\pm 30\%$ kebutuhan kapal laut merupakan faktor yang perlu untuk dipertimbangkan dalam industri baja.

Untuk menuju kemandirian bahan baku baja yang dipakai industri baja selama ini sangat tergantung pada pasokan dari luar negeri terutama dari negara-negara Amerika Selatan, Brazil dan Chile.⁹, serta menyongsong industri 4.0 (i4.0). Maka perlu dilakukan terobosan baru di bidang penelitian dan pengembangan, berupa pembangunan perusahaan/pabrik besi spon/besi pellet dengan menggunakan konsep industri 4.0 (i4.0).

Konsep model industri 4.0 (i4.0) berupa integrasi tata letak pabrik, *smart factory*, *lean manufacturing*, merupakan metodologi yang akan

⁹ Pusat Sumber Daya Geologi, 2014. Pasir Besi di Indonesia Geologi, Eksplorasi dan Pemanfaatannya, Hal. 64

diterapkan dalam penelitian ini, yaitu untuk proses pengelolaan pasir besi menjadi besi pellet hingga besi *sponge*.

Untuk mewujudkan itu semua, sebelum pada keadaan sebenarnya, maka perlu dimodelkan dan disimulasikan terlebih dahulu.

Model simulasi tata letak pabrik, *smart factory*, dan *Lean Manufacturing* di Industri 4.0 (i4.0) dalam pengelolaan pasir besi menjadi besi pellet hingga besi *sponge* merupakan konsep terintegrasi antara optimalisasi tata letak dengan optimalisasi reduksi pemborosan dalam operasional perusahaan/pabrik besi spon.

Model simulasi ini dirancang karena pada penelitian sebelumnya belum ada penelitian mengenai model simulasi yang didukung oleh integrasi antara konsep tata letak pabrik, *smart factory*, dengan *lean manufacturing*, yang diperuntukan pada pengelolaan pasir besi.

Sehingga model simulasi ini sebagai antisipasi terjadinya kesalahan perancangan (*design*) dan perencanaan (*planning*), yang berakibat perusahaan beroperasi tidak optimal sehingga dapat terjadi pemborosan di setiap sektornya. Akibatnya kemandirian pasokan bahan baku industri baja yang diperuntukan untuk kebutuhan bahan baku pembuatan produk industri pertahanan di Indonesia seperti PT. Pindad (Persero) dan PT. PAL (Persero) akan terhambat.

1.2 Rumusan Masalah

Menyongsong era Industri 4.0. Implementasi konsep kemandirian industri pertahanan sesuai dengan Undang Undang No. 16 Tahun 2012 dan mendukung poros maritim dunia mensyaratkan Indonesia harus memberi perhatian serius pada industri pendukung kebijakan tersebut. Adanya fakta kemampuan industri pertahanan di Indonesia sangat minimum sebagai contoh galangan kapal yang hanya mampu memenuhi sekitar 30% kebutuhan kapal laut merupakan faktor yang perlu untuk dipertimbangkan dalam industri baja.

Permasalahan yang sangat penting untuk dievaluasi pada industri baja ini adalah bahan baku berupa besi spon yang masih didatangkan dari luar negeri. Pemenuhan bahan baku industri dari luar negeri menjadikan pabrik baja sangat tergantung pada pasokan dari luar dan pada akhirnya tidak mampu menjaga kemandirian produksi baja jika terjadi ketidakstabilan ekonomi dan perdagangan dunia. Kondisi ini mendorong perlu dilakukan suatu konsep pengolahan pasir besi yang melimpah di Indonesia menjadi besi *sponge* yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan plat baja guna mendukung kemandirian industri baja yang dampak akan menuju kemandirian industri pertahanan. Berdasarkan uraian diatas maka pokok permasalahan yang akan menjadi fokus penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan konsep pengelolaan pasir besi dengan menggunakan konsep industri 4.0?.
2. Pembuatan model simulasi dari integrasi teknologi tata letak pabrik, *smart factory*, dan *lean manufacturing* pada pengelolaan pasir besi menjadi besi pellet/besi *sponge* model industri 4.0.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Untuk menjawab rumusan masalah tersebut, pada penelitian ini digunakan beberapa uraian pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimanakah tahapan pembuatan konsep pengelolaan pasir besi dengan menggunakan model industri 4.0?.
2. Bagaimanakah pembuatan model simulasi dari integrasi teknologi tata letak pabrik, *smart factory*, dan *lean manufacturing* pada pengelolaan pasir besi menjadi besi pellet/besi *sponge* model industri 4.0?.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan permasalahan yang dibuat sebelumnya, tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Membuat model konsep pengelolaan pasir besi dengan menggunakan model industri 4.0 (i4.0).
2. Membangun model simulasi tata letak pabrik, dengan integrasi konsep teknologi tata letak pabrik, *smart factory*, serta *konsep lean manufacturing* dalam pengelolaan pasir besi menjadi besi pellet/besi *sponge* model industri 4.0 (i4.0).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara akademis/teoritis maupun praktis dengan uraian sebagai berikut.

1.5.1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini dapat memberikan sumbangan pemikiran dalam pengembangan teori dan strategi pemotretan kemampuan industri pengolahan bahan tambang, khususnya pasir besi untuk model Industri 4.0.

1.5.2. Manfaat Praktis

Penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak yang paling berwenang dalam mewujudkan peningkatan nilai tambah hasil dalam pengolahan pasir besi untuk mendukung kemandirian bidang pertahanan di era Industri 4.0.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Perhitungan Cadangan Sumber Daya Pasir Besi

Pasir besi merupakan salah satu endapan besi yang selain telah dimanfaatkan sebagai bahan campuran dalam industri semen juga mempunyai prospek untuk dikembangkan sebagai bahan baku besi baja sesuai dengan perkembangan teknologi pengolahan dan kebutuhan pasar.

Sampai saat ini eksplorasi pasir besi sudah banyak dilakukan baik oleh pihak swasta maupun pemerintah, namun belum ada pedoman baku eksplorasi pasir besi yang bisa dipakai sebagai acuan teknis, terutama dalam penyusunan laporan hasil eksplorasi pasir besi.

Dalam menghitung cadangan sumberdaya pasir besi perlu diketahui beberapa istilah yang berkaitan dengan pasir besi. Manfaat istilah tersebut agar pada saat perhitungan kapasitas cadangan pasir besi yang ada dilokasi tambang lebih akurat dan optimal.


Berdasarkan Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral (sekarang Pusat Sumber Daya Geologi), 2005.¹⁰, ada beberapa istilah yang diperhatikan dalam eksplorasi pasir besi yaitu:

1. **Pasir Besi** adalah endapan pasir yang mengandung partikel bijih besi (magnetit), yang terdapat di sepanjang pantai, terbentuk karena proses penghancuran oleh cuaca, air permukaan dan gelombang terhadap batuan asal yang mengandung mineral besi seperti magnetit, ilmenit, oksida besi, kemudian terakumulasi serta tercuci oleh gelombang air laut.
2. **Gumuk Pasir atau *Sand dunes*** adalah longgokan pasir besi atau bukan pasir besi yang terletak searah dengan pantai dan memanjang, yang mempunyai ketinggian sampai dengan 15 meter.

¹⁰ Direktorat Inventarisasi Sumberdaya Mineral, 2005. Pedoman Teknis Eksplorasi Pasir Besi. Hal. 1

3. **Konsentrat Pasir Besi** adalah *Crude sand* yang telah mengalami benefisiasi melalui proses pemisahan magnet yang mempunyai prosentasi kemagnetan (MD).
4. **Conto individu** adalah conto pasir besi hasil pemboran yang diambil dari tiap interval kedalaman tertentu, biasanya tiap 1 atau 1,5 m.
5. **Conto komposit** adalah conto pasir besi hasil pemboran yang diambil dari satu lubang bor.
6. **Pereduksi conto (*Increment box*)** adalah alat pereduksi sampel di lapangan yang berupa bak terbuat dari kayu dengan ukuran lebar x panjang x tebal: 60 cm x 90 cm x 2 cm (J.I.S., 1965), untuk mendapatkan sampel yang representatif.
7. **Sumber Daya Endapan Pasir Besi Hipotetik** adalah sumber daya yang dihitung dengan interval bor > 1000 m.
8. **Sumber Daya Endapan Pasir Besi Tereka** adalah sumber daya yang dihitung dengan interval bor 1000 m x 80 m.
9. **Sumber Daya Endapan Pasir Besi Tertunjuk** adalah sumber daya yang dihitung dengan interval bor 400 m x 40 m.
10. **Sumber Daya Endapan Pasir Besi Terukur** adalah Sumber daya yang dihitung dengan interval bor 100 m x 20 m.
11. **Cadangan Pasir Besi Terkira (*Probable Ore Reserves*) adalah** Sumber daya tertunjuk yang berdasarkan studi kelayakan tambang, semua faktor yang terkait telah terpenuhi sehingga penambangan dapat dilakukan secara ekonomis.
12. **Cadangan Pasir Besi Terbukti** adalah (*Proved Ore Reserves*) yaitu sumber daya terukur yang berdasarkan studi kelayakan tambang, semua faktor yang terkait telah terpenuhi sehingga penambangan dapat dilakukan secara ekonomis.

Tabel 2.1 Klasifikasi Sumberdaya dan Cadangan Pasir Besi
SNI 13-6011-1999

<i>Tahap Eksplorasi</i> <i>Status Hasil Kajian</i>	<i>Survey Tinjau (Reconnaissance)</i>	<i>Prospeksi (Prospecting)</i>	<i>Eksplorasi Pendahuluan (Preliminary Exploration)</i>	<i>Eksplorasi Rinci (Detailed Exploration)</i>	K E L A Y A K A N E K O N O M I ↓
<i>Belum Layak</i>	Sumberdaya Hipotetik (Hypothetical)	Sumberdaya Tereka (Inferred)	Sumberdaya Tertunjuk (Indicated)	Sumberdaya Terukur (Measured)	
<i>Layak</i>			Cadangan Tereka (Probable Reserves)	Cadangan Terbukti (Proven Reserves)	
KEYAKINAN GEOLOGI 					

Arah anak panah yang ada didalam tabel makin kekiri maka cadangan pasir besi dapat dikur hampir mendekati cadangan sebenarnya apabila sudah ditambang. Begitu pun arah anak panah makin kebawah maka tingkat kelayakan secara ekonomi makin layak.

Selain istilah tersebut diatas. Dalam menghitung sumber daya cadangan pasir besi, terdapat 2 metode¹¹ yaitu:

1. Metoda daerah pengaruh dengan rumus :

$$C = (L \times t) \times MD \times SG$$

Dimana:

C = Sumber daya dalam ton

L = Luas daerah pengaruh dalam m²

t = Tebal rata-rata endapan pasir besi dalam meter

MD = prosentase kemagnetan dalam %

SG = Berat Jenis dalam ton/m³

¹¹ Ibid hal. 5

2. Metoda Geostatistik

Metoda ini digunakan untuk membantu dalam perhitungan estimasi sumberdaya/cadangan endapan bahan galian dimana nilai sampel merupakan realisasi fungsi acak (statistik spasial). Pada hipotesis ini, nilai sampel merupakan suatu fungsi dari posisi dalam cebakan, dan posisi relatif sampel dimasukkan dalam pertimbangan.

Kesamaan nilai-nilai sampel yang merupakan fungsi jarak sampel serta yang saling berhubungan ini merupakan dasar teori statistik spasial. Metoda ini jarang dilakukan dalam perhitungan estimasi sumber daya /cadangan pasir besi.

Untuk mengetahui sejauh mana hubungan spasial antara titik–titik di dalam cebakan, maka harus diketahui fungsi strukturalnya yang dicerminkan oleh model semivariogramnya.

Menetapkan model semivariogram merupakan langkah awal dalam perhitungan geostatistik, selanjutnya dengan perhitungan varian estimasi, varian dispersi, varian kriging, dll.

Metoda geostatistik yang digunakan dalam eksplorasi pasir besi adalah varian estimasi. Pada metoda ini estimasi suatu cadangan dicirikan oleh suatu ekstensi/pengembangan satu atau beberapa harga yang diketahui terhadap daerah sekitarnya yang tidak dikenal. Suatu harga yang diketahui (diukur pada sampel inti, atau pada suatu blok) diekstensikan terhadap bagian-bagian yang diketahui pada satu endapan bijih.

Ada beberapa cara estimasi yang sudah dikenal pada kegiatan pertambangan antara lain :

- a. Estimasi kadar rata-rata suatu cadangan bijih berdasarkan rata-rata suatu kadar yang didapat dari analisis sampel pemboran/sumur uji.
- b. Estimasi endapan bijih pada suatu tambang atau blok-blok penambangan dengan menggunakan sistem poligon sebagai daerah pengaruh, yang antara lain didasari oleh titik-titik pengamatan berikutnya, pembobotan secara proporsional yang berbanding terbalik dengan jarak dan lain-lain.

2.2 Proses Pengolahan Pasir Besi Menjadi Besi *Sponge*

Pasir besi (*iron sand*) merupakan suatu jenis bijih besi yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan pelet besi yang selanjutnya akan dilanjutkan dengan proses reduksi dalam persiapan proses peleburan pada pembuatan besi dan baja.¹² Dengan alasan ekonomi, pemanfaatan bijih besi untuk reduksi sangatlah tidak mungkin tanpa dilakukan persiapan bahan baku reduksi.¹³

Berdasarkan hasil penelitian Tim Kerja Pembuatan Pelet Pusat Pengembangan Teknologi Mineral tahun 1984 dalam pemanfaatan pasir besi Kutoarjo sebagai bahan baku pembuatan besi dan baja, terlebih dahulu perlu dilakukan proses benefisiasi atau peningkatan setinggi-tingginya terhadap kadar besinya (Fe).¹⁴

Hasil penelitian menunjukkan bahwa melalui proses konsentrasi magnetik mampu meningkatkan kadar Fe pasir besi Kutoarjo hingga 50%.¹⁵ Selanjutnya dengan proses penggerusan hingga 400 mesh, kadar Fe mampu ditingkatkan lagi hingga mencapai 59,6%. Akan tetapi, pasir besi hasil proses benefisiasi yang memiliki ukuran partikel <1 mm tidak dapat dimanfaatkan secara langsung untuk bahan baku peleburan besi, sehingga perlu dilakukan proses persiapan lebih lanjut.¹⁶

Besi *sponge* (pellet) adalah besi yang diperoleh dari reduksi bijih besi secara langsung pada temperatur dibawah titik lelehnya, menggunakan reduktor gas alam atau gas dari batubara atau reduktor padat misalnya batubara. *Sponge* (pellet) disebut juga sebagai DRI (*Directly reduced Iron*)

¹² Meyer, Kurt. 1980 . *Pelletizing of Iron Ores*. Springle Verlag: Berlin-New York, Hal. 50

¹³ Loc.cit

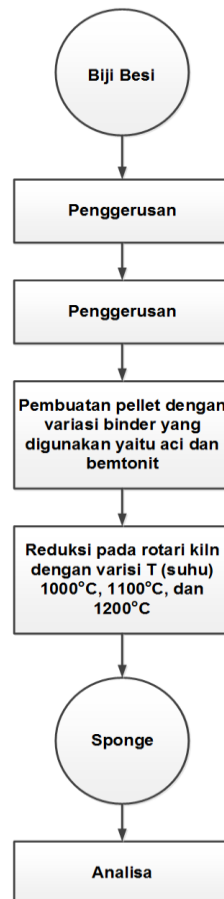
¹⁴ Tim Kerja Pembuatan Pelet. 1984. *Penelitian Pembuatan Pellet Dari Konsentrat Pasir Besi Yogyakarta Untuk Bahan Baku Pellet PT. Krakatau Steel Cilegon*. PPTM : Bandung, Hal.23

¹⁵ Loc.cit

¹⁶ Habashi, Fathi. 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy Volume 1*. Wiley-Vach: Newyork, Toronto, Brisbane, Hal.57

atau pengganti *scrap* (*scrap substitute*) sesuai dengan fungsinya menggantikan *scrap* dalam industri besi-baja.¹⁷

Ada beberapa metode dalam pembuatan besi pellet (*sponge*), diantaranya dapat dilihat pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Sumber: Jamali, Adil, 2010

Gambar 2.1 Bagan Alir Pembuat Besi *Sponge* (Pellet)

Ada beberapa manfaat yang terkait dengan *Sponge Iron* yang memungkinkan untuk bersaing secara efektif dengan jenis lain dari besi lebur. Industri harus melakukannya dengan komposisi aktual dari produk akhir itu sendiri. Sebagai sampel, jenis besi dianggap lebih kaya dari pig iron, jenis lain dari besi umumnya dihasilkan dalam blast furnace. *Sponge*

¹⁷ Jamali. Adil, 2010. Pengaruh Bahan Perikat dan Waktu Reduksi Pada Pembuatan Briket Besi *Sponge* Dari Bahan Baku Lokal", UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung-LIPI. Majalah Metalurgi, Hal. 118

Iron juga dapat digunakan untuk menghasilkan bijih bubuk yang bekerja sangat baik bila dicampur dengan logam lain dalam produksi berbagai jenis besi berbasis produk.¹⁸

Salah satu metode reduksi adalah reduksi berbasis pellet komposit, Proses ini menggunakan bahan baku pellet komposit yang dibuat dari campuran bijih besi halus, batubara, bahan pembentuk slag dan bahan perekat. Disebut juga *self reducing* pellet karena batubara atau bahan karbon lainnya telah ada didalam pellet yang akan mereduksi bijih besi.¹⁹

2.3 Konsep *Lean Manufacturing*

Lean artinya usaha yang dilakukan terus-menerus untuk menghentikan pemborosan (*waste*) sehingga meningkatkan nilai tambah (*value added*) suatu produk (barang maupun jasa) gunanya memberikan kepuasan kepada pelanggan (*customer value*). Tujuan *lean* peningkatan berkesinambungan *customer value* dengan peningkatan berkesinambungan rasio dari nilai tambah dengan waste (*the value-to-waste ratio*).²⁰

Konsep *lean manufacturing* yang dikembangkan Toyota terbukti mampu meningkatkan kinerja dari proses produksi. Dalam buku *The Toyota Way*, pendapatan Toyota meningkat 8,3 kali lebih besar daripada industri pada umumnya setelah menerapkan sistem *lean*. Selain peningkatan kinerja proses produksi diimbangi juga dengan peningkatan kualitas produksi yang tinggi, produktivitas yang tinggi, serta kecepatan dalam proses manufaktur.²¹

¹⁸ <http://www.byantech.com/kategori-pabrik/pengolahan-pasir-bijih-besi/kegunaan/>, diakses: 3 Juni 2018

¹⁹ Op.cit

²⁰ Ohno, Taiichi, 1990. Toyota Production System. Productivity Press, Hal. 25

²¹ Prasetya, Alexander, 2015. Perancangan Tata Letak Fasilitas Dengan Pendekatan Lean Manufacturing, Hal. 3

Penerapan konsep lean bisa dilakukan dengan multi tools, serta prinsip lean thinking. Lean Thinking merupakan prinsip dasar dari lean yaitu.²²:

1. *Value* ditentukan oleh konsumen bukan oleh manajer pabrik.
2. Identifikasi *value stream* digunakan untuk memantau produk dari bahan baku sampai ke tangan pelanggan.
3. Menghilangkan pemborosan yang tidak bernilai tambah dari semua aktivitas sepanjang proses *value stream*.
4. Penerapan *single-piece flow* bisa diimplementasikan pada *cellular manufacturing*.
5. Menggunakan *pull system* (sistem tarik) untuk sistem produksinya.
6. Menerapkan perbaikan berkesinambungan (*continuous improvement*)

2.4 Konsep Simulasi

Model Simulasi merupakan suatu metode dari suatu model nyata atau sistem imajinasi untuk mengetahui apakah suatu proses itu terbaik dengan memprediksi sifat dari sistem model atau proses.²³

Simulasi merupakan suatu teknik meniru operasi-operasi atau proses- proses yang terjadi dalam suatu sistem dengan bantuan perangkat komputer dan dilandasi oleh beberapa asumsi tertentu sehingga sistem tersebut bisa dipelajari secara ilmiah.²⁴

Dalam simulasi digunakan komputer untuk mempelajari sistem secara numerik, dimana dilakukan pengumpulan data untuk melakukan estimasi statistik untuk mendapatkan karakteristik asli dari sistem.

Simulasi merupakan alat yang tepat untuk digunakan terutama jika diharuskan untuk melakukan eksperimen dalam rangka mencari komentar terbaik dari komponen-komponen sistem. Hal ini dikarenakan sangat mahal dan memerlukan waktu yang lama jika eksperimen dicoba secara riil.

²² Loc. cit

²³ Blaž RODIČ, 2017. Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm, Hal. 193

²⁴ Averill M. Law & W. David Kelton, Simulation Modeling & Analysis, second edition, McGraw-Hill, 1991; International. Hal. 45

Dengan melakukan studi simulasi maka dalam waktu singkat dapat ditentukan keputusan yang tepat serta dengan biaya yang tidak terlalu besar karena semuanya cukup dilakukan dengan komputer.

Pendekatan simulasi diawali dengan pembangunan model sistem nyata. Model tersebut harus dapat menunjukkan bagaimana berbagai komponen dalam sistem saling berinteraksi sehingga benar-benar menggambarkan perilaku sistem. Setelah model dibuat maka model tersebut ditransformasikan kedalam program komputer sehingga memungkinkan untuk disimulasikan.

2.4.1 Pemodelan Sistem dan Simulasi

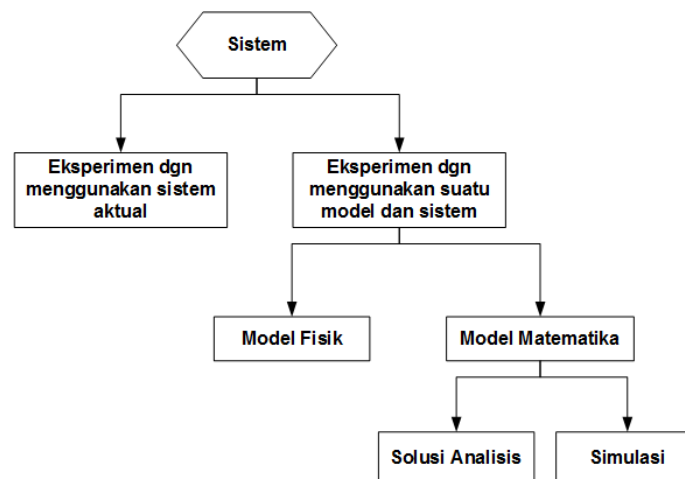
Sistem adalah kumpulan obyek yang saling berinteraksi dan bekerja sama untuk mencapai tujuan logis dalam suatu lingkungan yang kompleks. Obyek yang menjadi komponen dari sistem dapat berupa obyek terkecil dan bisa juga berupa sub-sistem atau sistem yang lebih kecil lagi. Dalam definisi ini disertakan elemen lingkungan karena lingkungan sistem memberikan peran yang sangat penting terhadap perilaku sistem itu. Bagaimana komponen-komponen sistem itu berinteraksi, hal itu adalah dalam rangka mengantisipasi lingkungan.²⁵

Mengamati sistem bukan hanya mendefinisikan komponen-komponen pendukung sistem, tetapi lebih dari itu harus pula mengetahui perilaku dan variabel-variabel yang ada di dalamnya. Paling tidak analisis terhadap sistem harus dapat membuat konsepsi tentang sistem itu. Ada beberapa cara untuk dapat merancang, menganalisis dan mengoperasikan suatu sistem. Salah satunya adalah dengan melakukan pemodelan, membuat model dari sistem tersebut.

Model adalah alat yang sangat berguna untuk menganalisis maupun merancang sistem. Sebagai alat komunikasi yang sangat efisien, model dapat menunjukkan bagaimana suatu operasi bekerja dan mampu

²⁵ Loc.cit

merangsang untuk berpikir bagaimana meningkatkan atau memperbaikinya.²⁶ Model didefinisikan sebagai suatu deskripsi logis tentang bagaimana sistem bekerja atau komponen-komponen berinteraksi. Dengan membuat model dari suatu sistem maka diharapkan dapat lebih mudah untuk melakukan analisis. Hal ini merupakan prinsip pemodelan, yaitu bahwa pemodelan bertujuan untuk mempermudah analisis dan pengembangannya. Melakukan pemodelan adalah suatu cara untuk mempelajari sistem dan model itu sendiri dan juga bermacam-macam perbedaan perilakunya. Berikut ini adalah gambaran dari aneka cara mempelajari sistem.



Sumber: Law and Kelton 1991

Gambar 2.2 Cara Mempelajari Sistem

2.4.2 Klasifikasi Model Simulasi

Pada dasarnya model simulasi dikelompokkan dalam tiga dimensi yaitu.²⁷:

1. Model Simulasi Statis dengan Model Simulasi Dinamis

Model simulasi statis digunakan untuk mempresentasikan sistem pada saat tertentu atau sistem yang tidak terpengaruh oleh perubahan waktu.

²⁶ Loc.cit

²⁷ Loc.cit

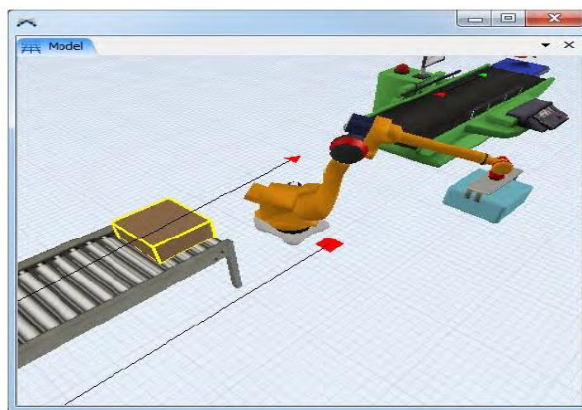
Sedangkan model simulasi dinamis digunakan jika sistem yang dikaji dipengaruhi oleh perubahan waktu.

2. Model Simulasi Deterministik dengan Model Simulasi Stokastik

Jika model simulasi yang akan dibentuk tidak mengandung variabel yang bersifat random, maka model simulasi tersebut dikatakan sebagai simulasi deterministik. Pada umumnya sistem yang dimodelkan dalam simulasi mengandung beberapa input yang bersifat random, maka pada sistem seperti ini model simulasi yang dibangun disebut model simulasi stokastik.

3. Model simulasi Kontinu dengan Model Simulasi Diskret.

Untuk mengelompokkan suatu model simulasi apakah diskret atau kontinyu, sangat ditentukan oleh sistem yang dikaji. Suatu sistem dikatakan diskret jika variabel sistem yang mencerminkan status sistem berubah pada titik waktu tertentu, sedangkan sistem dikatakan kontinyu jika perubahan variabel sistem berlangsung secara berkelanjutan seiring dengan perubahan waktu.



Gambar 2.3 Simulasi Layout 3D Flexsim.²⁸

2.5 Konsep Industri 4.0 (i4.0)

Industri 4.0 (i4.0), merupakan inisiatif dan strategi Jerman dengan tujuan menciptakan pabrik cerdas atau *smart factory* dimana suatu

²⁸ Flexsim, 2018. Flexsim User Manual, Hal. 638

teknologi di bidang manufaktur dirubah serta ditingkatkan melalui *cyber-physical systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), dan *cloud computing*.²⁹

Smart factory suatu pabrik modular dengan teknologi CPS yang memonitor proses fisik produksi kemudian menampilkannya secara virtual dan melakukan desentralisasi pengambilan keputusan

Cyber-Physical System (CPS) merupakan suatu sistem rekayasa kompleks dengan integrasi fisik, antara komputer, jaringan kerja, serta proses komunikasi. CPS diilustrasikan sebagai alat perlengkapan fisik, obyek, serta peralatan yang diterjemahkan ke ruang cyber sebagai model virtual akan memonitor dan mengendalikan semua aspek fisik, saat data aspek fisik dikirim ke update model virtual.³⁰ Integrasi dari obyek fisik dengan obyek siber diciptakan disebut *cyber-physical system* (CPS).³¹

CPS adalah teknologi untuk menggabungkan antara dunia nyata dengan dunia maya. Penggabungan ini dapat terwujud melalui integrasi antara proses fisik dan komputasi (teknologi *embedded computers* dan jaringan) secara *close loop*.³²

Cloud Computing adalah gabungan pemanfaatan teknologi komputer (komputasi) dan pengembangan berbasis Internet (*cloud*). *Cloud* adalah metafora dari internet, sebagaimana *cloud* yang sering digambarkan di diagram jaringan komputer.³³

Internet of Things (IoT) merupakan suatu evolusi dari internet, sebagai cara pandang bahwa internet bukan hanya sebuah jaringan dari serangkaian komputer yang saling terkoneksi menjadi jaringan dari serangkaian obyek/benda yang saling berhubungan tetapi IoT adalah konsep pemakaian internet yang diaplikasikan kedalam unit sistem yang

²⁹ Ray Y. Zhong, Xun Xu, Klotz, Eberhard, Newman, Stephen T., 2017. *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*, Hal. 1

³⁰ Jay Lee, 2015. *Smart Factory Systems*, Hal.1

³¹ Jay Lee, B. Bagheri, and H.-A. Kao, 2015. *A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems*. *Manufacturing Letters*, 3: Hal. 18-23,.

³² Lee, E.A., 2008. *Cyber physical systems: Design challenges*. Hal. 10

³³ Loc. cit

dapat menghubungkan mesin dan sensor dengan jaringan internet dengan menggunakan komponen *embedded computing*.

Industri 4.0 pertama kali dipopulerkan tahun 2011 di Jerman yang merupakan konsep penggabungan dari empat teknologi yang saat ini sedang dikembangkan yaitu:

1. Teknologi pertama terdiri dari data, daya komputasi, dan konektivitas.
2. Teknologi kedua yaitu teknologi analisis data dan intelijen.
3. Teknologi ketiga merupakan interaksi manusia-mesin (teknologi antarmuka dan augmented reality).
4. Teknologi keempat merupakan konversi digital ke fisik (sistem robotik yang canggih sert teknologi 3D *Printing*).

Jika keempat teknologi tersebut dipadukan, maka akan terbentuk era baru dalam teknologi proses dibidang manufaktur yang dinamakan smart factory atau pabrik cerdas, yaitu konsep pabrik yang dapat memenuhi permintaan khusus dari pelanggan dengan tetap menjaga tingkat kualitas dan keuntungannya.

Dalam penerapannya Industri 4.0 (i4.0) tidak bisa dilihat sebagai sistem terisolasi, Namun harus dilihat sebagai kesatuan komponen dari sejumlah komponen utama dari sebuah aplikasi. Karena itu i4.0 pada implementasinya melibatkan interdisipliner serta bersinergis dengan komponen utama lainnya.³⁴ Tentunya hal ini akan mengakibatkan transformasi dirantai nilai konvensional, serta memunculkan model bisnis baru yang berdampak pada sosial dan politik baru.

i4.0 integrasi dari teknologi yang sedang berkembang saat ini. Terdapat 11 (sebelas) teknologi utama yang menjadi pilar penopang struktur i4.0. Kesebelas teknologi ini adalah. ³⁵:

1. Teknologi *Internet of Things* (IoT).
2. Teknologi *Autonomous Robot*.
3. Teknologi *Cloud Computing*.

³⁴ McKinsey & Company, 2015. *Industri 4.0 Report*, Hal.15

³⁵ Rubmann, M. et.al, 2015, Hal. 4-7

4. Teknologi *Big Data* dan *Analytics*.
5. Teknologi *Additive Manufacturing*.
6. Teknologi *Augmented Reality*.
7. Teknologi Simulasi.
8. Teknologi Integrasi sistem (horizontal maupun vertikal).
9. Teknologi Keamanan *Cyber*.
10. Teknologi *3D Printing*.
11. Teknologi *Advanced Human-Machine Interfaces*.

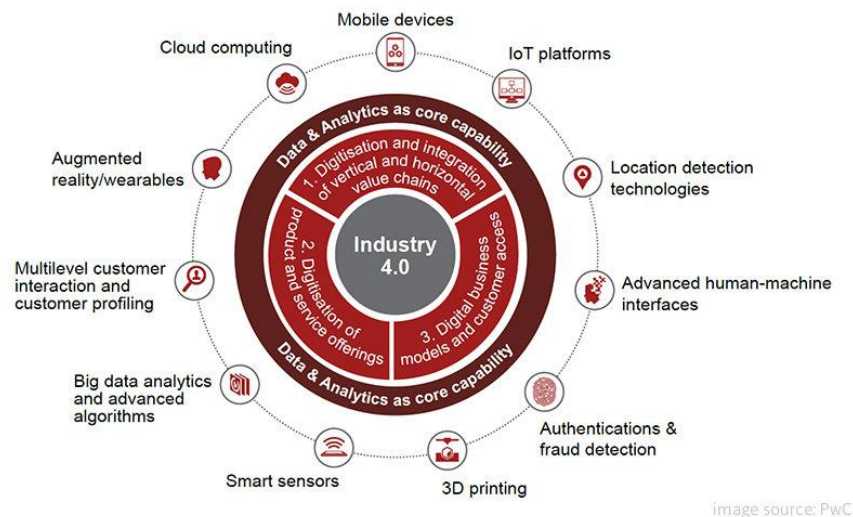


image source: PwC

Gambar 2.4 Konsep Industri 4.0 (i4.0)³⁶

2.6 Konsep Tata Letak Pabrik

Perencanaan tata letak pabrik merupakan cara pengaturan fasilitas-fasilitas pabrik untuk menunjang kelancaran proses produksi. Tujuan utama dari perencanaan dan pengaturan tata letak pabrik adalah mengatur area kerja dan segala fasilitas produksi yang paling ekonomis untuk operasi produksi, aman dan nyaman, sehingga dapat menaikkan moral kerja dan performance dari operator.³⁷ Tata letak pabrik ini meliputi perencanaan dan pengaturan letak mesin, peralatan, aliran bahan dan orang-orang yang

³⁶ PWC, 2016. Industry 4.0: Building the digital enterprise, Hal. 10

³⁷ Wignjosoebroto, Sritomo. 2003. Tata Letak Pabrik dan Pemandangan Bahan 3th Edition. Guna Widya, Surabaya, Hal. 34

bekerja pada masing-masing stasiun kerja. Jika disusun secara baik, maka operasi kerja menjadi lebih efektif dan efisien.

Suatu perusahaan dikatakan berjalan secara efektif dan efisien dapat ditinjau dari berbagai aspek diantaranya adalah aspek produksi yang merupakan inti dari kegiatan suatu usaha tata letak departemen-departemen yang kurang terencana dengan jarak perpindahan material yang kurang baik dapat menimbulkan sejumlah masalah seperti penurunan produksi dan peningkatan biaya yang harus dikeluarkan. Dengan melakukan perancangan ulang tata letak pabrik diharapkan proses produksi menjadi lancar.³⁸ Untuk itu pengaturan tata letak fasilitas produksi dilakukan sebaik mungkin guna menunjang kelancaran proses produksi yang pada akhirnya mampu mencapai efektivitas dan efisiensi.

Untuk mencapai tata letak yang efisien dan efektif, perlu memilih jenis tata letak yang akan diterapkan serta bagaimana cara memperbaiki tata letak agar dihasilkan tata letak yang produktif. Untuk itu semua ada beberapa model tata letak serta metode perbaikan yang dapat diimplementasikan diantaranya.

2.6.1 Cellular Layout

Cellular layout merupakan integrasi antara fleksibilitas tata letak proses dengan efisiensi tata letak produk untuk menjawab keterbatasan tata letak proses dan mengeksploitasi kelebihan tata letak produk.³⁹

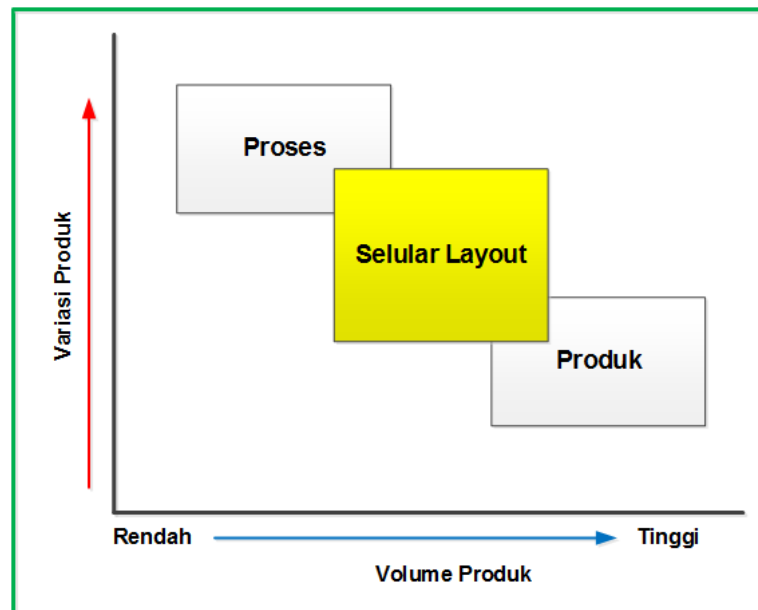
Tata letak proses ini digunakan untuk menata letak peralatan yang sama dikelompokkan bersama pada suatu departemen atau stasiun kerja menurut fungsi yang dimilikinya, sehingga produk dapat berjalan lancar ke arah mesin yang diperlukan pada waktu operasi.⁴⁰

³⁸ Tompkins J.A., White J.A., Bozer, Tanchoco J.M.A. 2003. *Facilities Planning*, Third Edition, John Willey & Sons, Inc, California. Hal. 65

³⁹ Soraya Hepi, Yofa, *Re- Designing of Facility Layout with Cellular Manufacturing System Approach*, Hal. 7

⁴⁰ Tahir, Suharto, Syukriah, Baidhawi, Sayed, 2015. Usulan Perbaikan Tata Letak Fasilitas dengan Menggunakan Algoritma CRAFT, Hal. 5

Tata letak produk merupakan mengatur tata letak mesin dalam garis berdasarkan urutan operasi yang diperlukan untuk mengassembling produk terpisah menjadi suatu produk jadi. Dengan demikian setiap produk memiliki jalur secara khusus yang dirancang agar sesuai dengan yang dibutuhkannya.⁴¹



Sumber: Tahir, 2015

Gambar 2.5 Volume dan Variasi Produk Tata Letak Seluler

Melihat Gambar 2.5, apabila volume produk rendah maka menggunakan *layout* berdasarkan proses, serta apabila volume produk tinggi sebaiknya *layout* berdasarkan produk menjadi pilihan utama. Selular *layout* digunakan saat volume produk dari rendah menuju ke tinggi. Untuk variasi produk berlawanan dengan volume produk.

2.6.2 Modular Layout

Tata letak modular merupakan pengelompokan mesin-mesin sejenis yang memiliki kesamaan berdasarkan urutan operasi dari produk yang sedang diproduksi sehingga membentuk suatu modul (Irani, 1999). Huang

⁴¹ Loc.cit

dan Irani (1998) membangun prosedur heuristik berdasarkan metode *string matching* dan klaster, biasanya digunakan dalam kimia molekuler maupun ilmu biologi. Dalam mendesain tata letak modular, Irani dan Huang menganalisis klaster *common substring* (Irani dan Huang, 2000). *Common substring* merupakan kumpulan operasi yang berurutan digunakan bersama untuk membuat produk atau komponen tertentu.⁴²

2.6.3 Algoritma *Computerized Relative Allocation Facility Technique* (CRAFT)

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan perencanaan tata letak pabrik, salah satunya adalah Algoritma *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT). Algoritma CRAFT (*Computerized Relative Allocation Facility Technique*) merupakan salah satu algoritma tata letak untuk metode perbaikan yang dikembangkan oleh Armour, Buffa, dan Vollman (1963), input algoritma CRAFT adalah from to chart yaitu jarak perpindahan, serta ongkos material handlingnya.^{43 44}

2.7 Pengukuran Waktu Proses

Pengukuran waktu proses menggunakan jam henti (*stop watch*) sebagai alat ukur utamanya. Teknik pengukuran jam henti adalah metode pengukuran waktu yang paling sederhana karena itu lebih sering digunakan daripada metode-metode pengukuran waktu lainnya.⁴⁵ Langkah-langkah yang dilakukan sebelum melakukan pengukuran antara lain:

- a. Penetapan tujuan pengukuran.

⁴² Ristono, Agus, 2015. Perancangan Tata Letak Fleksibel dengan Teori Graph, Hal. 5

⁴³ Darmawan et. al, 2015. Perbaikan Tata Letak Fasilitas Produksi Menggunakan Algoritma CRAFT, Hal.7

⁴⁴ Prasad, Hari, 2014. *A Typical Manufacturing Plant Layout Design Using CRAFT Algorithm*, Hal. 4

⁴⁵ Satalaksana Iftikar Z., Anggawisastra Ruhana, dan Tjakraatmadja Jann H. (2006). Teknik Perancangan Sistem Kerja, Hal. 56.

- b. Melakukan penelitian pendahuluan.
- c. Memilih operator.
- d. Melatih operator.
- e. Mengurai pekerjaan atas elemen-elemen pekerjaan.
- f. Menyiapkan alat-alat pengukuran.

Setelah melakukan persiapan untuk pengukuran, langkah selanjutnya adalah melakukan pengukuran waktu. Pengukuran waktu adalah pekerjaan mengamati pekerja dan mencatat waktu kerjanya baik setiap elemen ataupun siklus menggunakan alat-alat yang telah disiapkan. Hal pertama yang dilakukan adalah pengukuran pendahuluan. Tujuan melakukan pengukuran pendahuluan adalah untuk mengetahui berapa kali pengukuran yang harus dilakukan untuk tingkat ketelitian dan keyakinan yang diinginkan. Dalam penelitian biasanya akan digunakan tingkat ketelitian 5% dan tingkat keyakinan 95%. Berdasarkan tingkat ketelitian dan keyakinan di atas, hal tersebut menunjukkan bahwa rata-rata hasil pengukuran memiliki penyimpangan maksimum sebesar 5% dari nilai sesungguhnya dan kemungkinan berhasil mendapatkan hal tersebut adalah 95%. Jadi, jika dalam pengukuran diperoleh rata-rata pengukuran menyimpang sejauh 5% dari seharusnya hal tersebut diperbolehkan terjadi hanya dengan kemungkinan sebesar $100\% - 95\% = 5\%$.⁴⁶

Cara mengetahui berapa kali pengukuran yang harus dilakukan, diperlukan beberapa tahap pengukuran pendahuluan. Tahap pertama dilakukan dengan melakukan beberapa buah pengukuran yang banyaknya ditentukan oleh pengukur.⁴⁷ Setelah pengukuran tahap pertama dilakukan, langkah-langkah yang harus dilakukan berikutnya adalah:

- a. Membagi data ke dalam beberapa *sub group*

Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah *sub group* dapat dilihat pada persamaan 1.

⁴⁶ Loc. cit

⁴⁷ Loc. cit

$$k = 1 + 3,3 \log N \quad (1)$$

Keterangan: N (jumlah pengamatan).
k (jumlah *sub group*).

b. Menghitung rata-rata *subgroup*

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai rata-rata *subgroup* dapat dilihat pada persamaan 2.

$$\bar{X} = \frac{\sum \bar{X}_i}{k} \quad (2)$$

Keterangan: \bar{X} = (nilai rata-rata *sub group*).
 $\sum X_i$ = (jumlah rata-rata *sub group*).
k = (banyaknya *sub group*).

c. Menghitung standar deviasi

Standar deviasi adalah akar kuadrat dari varians dan menunjukkan standar penyimpangan data terhadap nilai rata-ratanya. Tingkat penyebaran data dapat dilihat dari standar deviasi. Standar deviasi yang semakin kecil menunjukkan tingkat penyebaran data yang semakin baik. Standar deviasi berfungsi memperlihatkan pola sebaran data, gap, dan variasi sebaran antar data. Standar deviasi juga digunakan untuk membandingkan penyebaran atau penyimpangan dua kelompok data atau lebih. Apabila standar deviasinya kecil, maka hal tersebut menunjukkan nilai sampel dan populasi berkumpul atau mengelompok di sekitar nilai rata-rata hitungnya. Artinya karena nilainya hampir sama dengan nilai rata-rata, maka disimpulkan bahwa anggota sampel atau populasi mempunyai kesamaan. Sebaliknya, apabila nilai deviasinya besar, maka penyebarannya dari nilai tengah juga besar. Hal tersebut menunjukkan adanya nilai-nilai ekstrem baik yang tinggi maupun rendah. Standar deviasi yang besar juga menunjukkan adanya perbedaan jauh diantara anggota populasi. Oleh sebab itu, standar deviasi yang tinggi biasanya dipandang kurang baik bila dibandingkan dengan standar deviasi rendah (Walpole, 2012).

Rumus yang digunakan untuk menghitung standar deviasi waktu dapat dilihat pada persamaan 3.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Xi - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (3)$$

Keterangan: σ (standar deviasi).
 X_i (data ke-i).
 \bar{X} (nilai rata-rata).
 N (banyaknya data).

- d. Menghitung standar deviasi dari distribusi nilai rata-rata *sub group*
 Standar deviasi dari distribusi nilai rata-rata *subgroup* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Keterangan: $\sigma_{\bar{X}}$ (standar deviasi dari nilai rata-rata *sub group*).
 σ (standar deviasi).
 n (banyaknya data setiap *sub group*).

- e. Menghitung nilai Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) sebagai uji keseragaman data
 Rumus untuk menghitung Batas Kendali Atas dan Batas Kendali Bawah dapat menggunakan persamaan 5 dan 6.⁴⁸

1. Untuk Batas Kendali Atas

$$BKA = \bar{\bar{x}} + K\sigma_{\bar{x}} \quad (6)$$

2. Untuk Batas Kendali Bawah

$$BKB = \bar{\bar{x}} - K\sigma_{\bar{x}} \quad (7)$$

Keterangan:

$\sigma_{\bar{x}}$ (standar deviasi dari nilai rata-rata *subgroup*).
 $\bar{\bar{x}}$ (nilai rata-rata *subgroup*).

⁴⁸ Loc. cit

- BKA (Batas Kendali Atas).
 BKB (Batas Kendali Bawah).
 $K = Z\alpha/2$ (nilai tingkat keyakinan).

Data yang dikatakan seragam berada di antara kedua batas kendali, dan tidak seragam jika berbeda di luar batas kendali.

f. Menguji kecukupan data

Pengujian kecukupan data dimaksudkan untuk menentukan banyaknya jumlah pengamatan data yang harus dilakukan. Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah data yang telah dikumpulkan sudah cukup atau belum. Bila data yang didapat sudah cukup, maka perhitungan penelitian dapat dilanjutkan. Tetapi jika ada data yang didapat tidak atau belum cukup, maka proses pengambilan dan pengumpulan data harus dilakukan lagi. Perhitungan untuk menguji kecukupan data menggunakan persamaan 9.

$$N' = \left[\frac{\frac{K}{s} \sqrt{N \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}}{\sum Xi} \right]^2 \quad (9)$$

- Keterangan: N' (jumlah pengukuran yang diperlukan).
 N (jumlah pengukuran yang telah dilakukan).
 K (tingkat keyakinan).
 s (tingkat ketelitian).
 Xi (data ke-i).

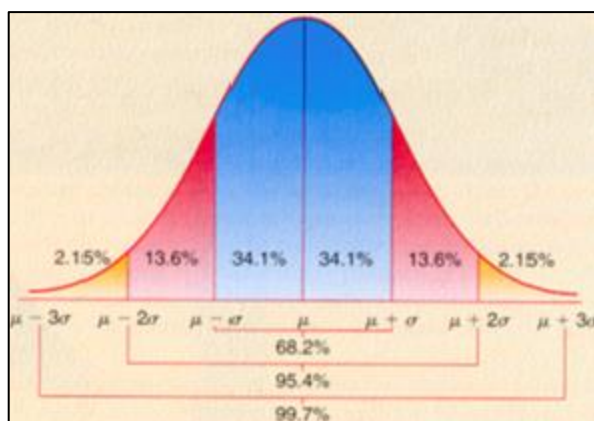
Pengujian kecukupan data dipengaruhi oleh besarnya:

1. Tingkat ketelitian adalah penyimpangan maksimum dari hasil pengukuran terhadap nilai yang sebenarnya.

2. Tingkat kepercayaan adalah besarnya keyakinan/besarnya probabilitas bahwa data yang kita dapatkan terletak dalam tingkat ketelitian yang telah ditentukan.

Semakin tinggi tingkat ketelitian (semakin mendekati 0%) dan semakin besar tingkat kepercayaan (semakin mendekati 100%) maka jumlah pengukuran yang harus dilakukan semakin besar, atau jumlah sampel yang harus diambil semakin besar.⁴⁹

Nilai tingkat keyakinan dan ketelitian yang digunakan penulis dalam perhitungan ini adalah $K = 2$ dan $s = 0,05$. Nilai tersebut didapat berdasarkan Tabel 2.2.⁵⁰ (dan Gambar 18 adalah kurva normal dari penjelasan Tabel 2.2 secara visual.



Gambar 2.6 Kurva Normal Tingkat Keyakinan
(fertobhades.files.wordpress.com)

Tabel 2.2 Nilai tingkat keyakinan

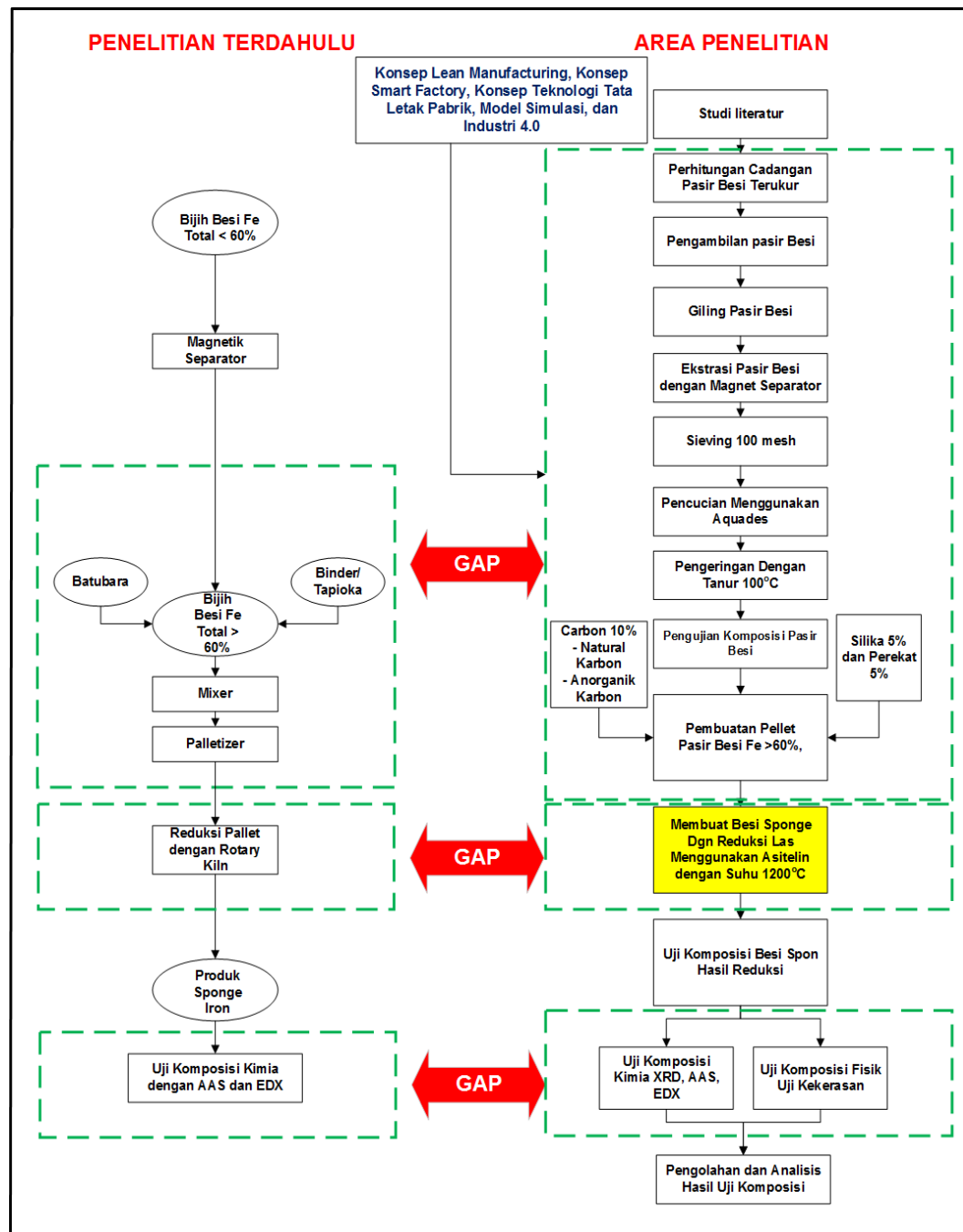
No	Tingkat Keyakinan	Nilai K
1	$(1-\alpha) \leq 68,27\%$	1
2	$68,27\% < (1-\alpha) \leq 95,45\%$	2
3	$95,45\% < (1-\alpha) \leq 99,73\%$	3

⁴⁹ Loc. cit

⁵⁰ Loc. cit

2.8 Posisi Penelitian

Penelitian ini merupakan terobosan untuk menghadapi era Industri 4.0, yaitu pembangunan pengelolaan pasir besi mulai dari hulu sampai dengan hilir dengan menggunakan teknologi yang tepat guna mengatasi ketergantungan kebutuhan besi *sponge*, dengan konsep *Lean Manufacturing* model simulasi Industri 4.0. Penelitian tesis ini harus terhindar dari penjiplakan (*plagiarism*), dan harus bersifat potret saat ini. Untuk itu diperlukan penelitian yang berbeda dengan penelitian yang sudah ada. Lebih lengkapnya perbedaan posisi penelitian tesis ini, dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Posisi Penelitian

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan referensi dan informasi yang sangat penting dalam suatu penelitian ilmiah, penelitian terdahulu merupakan suatu panduan agar penelitian tersebut terhindar dari penjiplakan

(*plagiarism*). Pada penelitian ini ada beberapa hasil penelitian yang berhubungan dengan proses pembuatan besi *sponge*, Konsep Tata Letak, Lean Manufacture, dan yang berhubungan dengan penelitian mengenai Industri 4.0 yang dijadikan sebagai bahan referensi. Referensi pada penelitian sebagian besar berupa jurnal yang sudah diterbitkan. Adapun beberapa hasil penelitian mengenai pengolahan pasir besi menjadi besi pellet selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu Tentang Pasir Besi

No.	Peneliti	Judul	Metode	Teori	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	Yugo pranto, Sugeng Tirta Atmadja, Yusuf Umarodani (2015), Jurnal Teknik Mesin Vol. 3 No.2	Uji Karakteristik Sponge Iron Hasil Reduksi Menggunakan Burber Las Asitelin dari Pasir Besi Pantai Asemduyong Pematang	Eksperimen	Reduksi Burner	Hasil uji komposisi raw material terdiri dari 52,12% Fe, 8,10% C, 1,94% Si, dan 2,18 % Mg. Sedangkan pada sponge iron terdiri dari 62,46% Fe, 2,70% C, 0,85% Si, dan 1,43% Mg. Dari data tersebut terlihat peningkatan kadar Fe yang signifikan sebesar 10,34%, dan disertai dengan penurunan kadar zat pengotor dalam pasir besi	Fokus pada Uji karakteristik dengan sampel Besi Sponge hasil Burner Asitelin
2	Adil Jamali, Fika Rofiq Muakhir dan Muhammad Amin (2016) Jurnal Metalurgi V 27.2.2012, ISSN 0216- 3188/ hal 117-126	Pengaruh bahan Perekat dan Waktu Reduksi Pada Pembuatan Briket Sponge dari bijih Besin Lokal.	Eksperimen	Perekat dan Waktu Reduksi	Percobaan pembuatan sponge briket dengan bahan perekat tapioka dan bentonit telah berhasil dilakukan menghasilkan sponge dengan metalisasi 83,56%; 84,21%; 91%; 94% dan 96%. Hasil metalisasi ini melebihi target yang direncanakan yaitu sebesar 86%. Waktu reduksi yang optimal didapat pada angka 40 menit untuk temperatur reduksi 1150 °C. Sponge yang dihasilkan berhasil dilebur dalam tungku induksi untuk menghasilkan besi cair.	Fokus dengan Perekat Bahan Perekat
3	Yazid Bindar, Anton Irawan, Teguh Kurniawan (2015), Jurnal ResearchGate	Pemodelan Rotary Kiln pada Produksi Besi Spons	Kuantitatif	Teori Perpindahan Panas dan Massa	Simulasi peristiwa perpindahan panas dan massa pada tanur putar produksi besi spons telah berhasil dilakukan. Perpaduan antara pemodelan yang tepat dengan pemrograman yang tangguh telah memberikan gambaran profil temperatur dan komposisi sepanjang tanur putar dengan cukup baik.	Fokus pada Pemodelan perpindahan panas dan massa
4	G. P. Singh, Sundeep, R. P. Choudhary, H. Vardhan., M. Aruna, A. B. Alokhar (2015), Journal of ScienceDirect, Elsevier	<i>Iron Ore Pelletization Technology and its Environmental: Impact Assessment in Eastern Region of India - A Case Study</i>	Kuantitatif	Teori Perpindahan Panas dan Massa	<i>Pelletization plants beneficiate fines and transform the unusable low grade fines into an easily consumable feed for blast furnaces. Pelletization Technology on small and medium scale is still under development for Hematite/ magnetite ore in Indian situation. Iron ore Pelletization has been identified as an alternative substitute for steel making process.</i>	Fokus pada Pemodelan perpindahan panas dan massa

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu Tentang Tata Letak

No.	Peneliti	Judul	Metode	Teori	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	Vivek Deshpande, Nitish D. Patil, Vilas Baviskar, Jaivesh Gandhi (2016), Jurnal ResearchGate	Plant Layout Optimization using CRAFT and ALDEP Methodology	Eksperimen-kuantitatif	CRAFT dan ALDEP	<i>The CRAFT technique shows an improvement of only 0.10% in MH cost for the existing layout. The proposed layout by ALDEP technique indicates the improvement (i.e. saving) in MH cost by 23%. This improvement of 23% i.e. Rs. 44.75 Lacs is a great savings per annum. This indicates usefulness of ALDEP methodology</i>	Fokus pada Ongkos Material Handling untuk menentukan perancangan tata letak/layout
2	György Kovács, Sebastian Kot (2017), Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics	Facility Layout Redesign for Efficiency Improvement and Cost Reduction	Eksperimen-kuantitatif	Facility Layout Problem (FLP)	<i>This research study is very important and actual, because the cost reduction and the improvement of productivity are very important goals of all of manufacturing units as per the changing market scenario companies</i>	Fokus pada permasalahan FLP dengan menggunakan pendekatan Matriks Kedekatan
3	Sanjeev B. Naik, Shrikant Kallurkar (2016), International Journal of Industrial Engineering Research and Development (IJIERD) Volume 7	A Literature Review On Efficient Plant Layout Design	Kuantitatif	Heuristic methods such as Tabu Search (TS), Simulated Annealing (SA), and Genetic Algorithms (GA)	<i>In order to achieve maximum returns from the capacity of facilities, it is very essential to optimize plant layout for proposed units or re-layout of existing manufacturing</i>	Fokus pada optimisasi tata letak sebagai dasar optimalisasi material handling

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu Tentang Lean Manufacturing

No.	Peneliti	Judul	Metode	Teori	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	R.Sundar, A.N.Balaji, R.M.Satheesh Kumar (2014), Journal of Elsevier	A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques	Kualitatif	Value Stream Mapping (VSM)	The successful Lean Manufacturing System implementation needs integration and simultaneous implementation of Lean elements along with proper sequence. The survey implementation Road Map which gives a unified theory for Lean Manufacturing System also proposes the detailed	Fokus pada optimalisasi pengurangan pemborosan
2	Rehab M. Ali, Ahmed M. Deif (2014), journal of Elsevier	Dynamic Lean Assessment for Takt Time Implementation	Kuantitatif	Sistem Dinamis	Reduksi waktu proses dan optimalisasi sistem kerja	Fokus pada optimalisasi waktu proses
3	Mudhafar Alefari, Konstantinos Salonitis, Yuchun Xu (2017), Journal of Elsevier	The role of leadership in implementing lean manufacturing	Kualitatif	Kuesioner	<i>In the present paper, the importance of top management and leadership in the introduction and implementation of lean and leadership in the introduction and manufacturing has been discussed. Based on a survey implementation of lean undertaken within the UK manufacturing sector, top management has been highlighted as the key success factor, particularly for SMEs.</i>	Fokus pada peningkatan kinerja perusahaan

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu Tentang Model Simulasi

No.	Peneliti	Judul	Metode	Teori	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	E. Mohamad, M. A. Ibrahim, A. S. Shighatullah, M. A. A. Rahman, M. A. Sulaiman, A. A. A. Rahaman, S. Abdullah and M. R. Salleh (2016), Journal of Engineering and Applied Sciences	A Simulation-Based Approach for Lean Manufacturing Tools Implementation: A Review	Eksperimen-Kuantitatif Simulation	Lean Tools Simulation	<i>This investigation recognized three essential factors for the successful implementation of LM tools. These are (a) the identification of waste in the production chain (b) the application of lean tools in the manufacturing process and (c) the development of lean simulation. These factors come together to elevate the efficiency of lean implementation.</i>	Fokus pada optimalisasi lean simulasi
2	David Gyulai, Adam Szaller, Zsolt Janos Viharos(2016), Journal of Elsevier	Simulation-based Flexible Layout Planning Considering Stochastic Effects	Kuantitatif-Simulasi	Discrete-event simulation (DES)	<i>Special analysis was carried out to analyze the impact of stochastic effects arising in manufacturing environments-on the resulted optimal system layout, and on the production performance parameters. The proposed framework takes into account the physical constraints (e.g. walls and columns) of the given plant and also any other so called restricted areas defined by the system layout planner, and finds the optimal (horizontal and vertical) position of the machines together with their best orientation inside the available area.</i>	Fokus pada optimalisasi Flexible Layout
3	Erik Flores Gracia, Enrique Ruiz Zuniga, Jessica Bruch (2018), Journal of Elsevier	Simulation-based Optimization for Facility Layout Design in Conditions of High uncertainty	Simulation-Based Optimization (SBO)	Pemodelan Sistem	<i>This paper aims to understand the conceptual modeling activities of SBO for facility layout design in conditions of high uncertainty. This was underpinned by the following research question: How do uncertainties in process innovation affect the conceptual modeling of SBO in facility layout design? This paper showed that uncertainty in the layout design process of production systems is a considerable challenge. In this paper an analysis of the different levels of uncertainty in SBO shop-floor layout design projects, combined with a selection of relevant criteria considered during the different design phases of every case study is presented</i>	Fokus pada teori simulasi dan pemodelan

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu Tentang Industri 4.0

No.	Peneliti	Judul	Metode	Teori	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	Pai ZHENG, Honghui WANG, Zhiqian SANG, Ray Y. ZHONG, Yongkui LIU, Chao LIU, Khamdi MUBAROK, Shiqiang YU, Xun XU (2018), Journal of Springer	Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives	cyber-physical systems (CPS),	cyber-physical production systems (CPPSS)	Optimalisasi Smart Manufacturing Systems	Fokus pada cyber-physical production systems (CPPSS)
2	Vasja Roblek, Maja Meško, and Alojz Krapiž (2016), Journal of Sage	A Complex View of Industry 4.0	Mixed Method	Internet of Thinking (IoT)	Studi saat ini merupakan suatu kontribusi teoritis penting untuk pemahaman Industri 4.0 dan teknologi yang terhubung ke Internet	In this article, we focused on the importance and influence of Industry 4.0 and the Internet-connected technologies for the creation of value added for organizations and society
3	Rainer Schmidt, Michael Möhring, Ralf-Christian Härtling, Christopher Reichstein, Pascal Neumaler, Philip Jozinović (2015), Journal of ResearchGate	Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results	Kuantitatif	Kuesioner structural equation modeling (SEM)	Industri 4.0 memperkenalkan produk pintar yang menangkap kepemilikan data utama karena kinerja komputasi dan memori meningkat secara signifikan, dan dapat mengevaluasi dan dapat mengidentifikasi dirinya ke sistem tingkat yang lebih tinggi. Industri 4.0 juga menyalin proses fisik dan digital	Penelitian empiris kami menghasilkan beberapa temuan menarik dari potensi penggunaan Industri 4.0. Penggunaan teknologi saat ini seperti Big Data atau Cloud adalah driver untuk potensi individual penggunaan Industry 4.0

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam mendukung tujuan dan manfaat dari penelitian ini diperlukan suatu metodologi penelitian yang tepat agar hasil dari tujuan penelitian menjadi optimal guna memberikan kontribusi keilmuan sesuai yang diinginkan. Adapun metodologi penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pada dasarnya untuk melakukan penelitian diperlukan tempat yang representatif dengan obyek yang akan diteliti, tetapi selain tempat penelitian, lamanya waktu penelitian harus dibatasi karena merupakan salah satu indikator sukses tidaknya suatu penelitian. Untuk penelitian yang bersifat eksperimental, perencanaan dan perancangan (desain), maka tempat dan waktu penelitian biasanya dilakukan di laboratorium atau studio yang ditetapkan sebagai berikut.

3.1.1 Tempat Penelitian

Lokasi atau tempat penelitian dilakukan untuk pengambilan data sampel yaitu Kecamatan Cipatujah, Kabupaten Tasikmalaya. Karena penelitian ini bersifat eksperimental, perencanaan, dan perancangan (desain) maka untuk pengolahannya dilakukan Laboratorium atau Studio Program Studi Industri Pertahanan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan.

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu yang dibutuhkan untuk menelitian tesis ini diperkirakan selama 4 (empat) bulan yang jadwal pelaksanaan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Jadwal Waktu Penelitian

No.	Tahap Penelitian	Tahun 2018																Tahun 2019			
		Agustus				September				Oktober				November				Januari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan	■	■																		
2	Kunjungan lapangan/Site			■	■																
3	Observasi					■	■														
4	Evaluasi					■	■														
5	Pengambilan Sampel							■													
6	Eksperimen								■												
7	Desain Proses dan Sistem Pabrikasi								■												
8	Desain Peralatan dan Utilitas Pabrik									■											
9	Simulasi Desain Pabrikasi										■										
10	Penyempurnaan										■	■	■	■	■						
12	Pembuatan Draft Desain Pabrikasi															■	■				
13	Penulisan Tesis									■	■	■	■	■	■	■	■				
14	Pra Tesis																	■			
15	Ujian Tesis																			■	

3.2 Data Penelitian

Konsep eksperimen, perencanaan dan perancangan (desain) pabrikasi pembuatan besi pellet/besi *sponge* diilhami konsep pembuatan keramik. Konsep proses produksi besi pellet/besi *sponge* konsepnya relatif sama dengan konsep kerja pembuatan ubin keramik, tetapi yang membedakan dari besi pellet/besi *sponge* dalam proses pencampuran yaitu besi pellet/besi *sponge* menggunakan *molen mix*, sedangkan proses keramik pencampuran menggunakan silo.

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa referensi literatur mengenai konsep pembuatan besi pellet/besi *sponge*, konsep teknologi tata letak pabrik, konsep *smart factory*, konsep *lean manufacturing*, dan konsep model simulasi. Sedang untuk data

primer yaitu data kuantitatif berupa pengambilan conto dan pengukuran langsung mengenai cadangan pasir besi yang dimiliki di lokasi tambang pasir besi di Daerah Kecamatan Cipatujah, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Data yang akan diukur berupa data *log bor* dibandingkan data sekunder dari pusat sumber daya geologi sebagai dasar untuk menghitung kapasitas cadangan pasir besi. Sedangkan sampel yang akan diteliti berupa conto pasir besi untuk lokasi Kecamatan Cipatujah, Kabupaten Tasikmalaya Provinsi Jawa Barat.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa peralatan yaitu:

1. Kompas Geologi.
2. Palu Geologi
3. Peta Geologi
4. Peta Lokasi.

Peralatan ini digunakan pada saat pengambilan sampel berupa pasir besi yang ada di lokasi (*site*) tambang.

5. *Software Flexsim 2018 Student Edition.*
6. *Oven pengering/Microwave.*
7. *Saringan/Screen*
8. *Magnet Separator.*
9. *Spatula.*
10. *Cetakan untuk membuat pellet*
11. *Plate (Loyang).*

Peralatan ini digunakan pada saat melakukan eksperimen, perencanaan, dan perancangan (desain) tata letak pabrikasi pembuat besi pellet/besi *sponge*. Tempat pelaksanaan eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium/Studio Industri Pertahanan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan.

3.4 Material Penelitian

Material yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa material yaitu:

1. Conto pasir besi.
2. Tepung tapioka.
3. Pasir silika.
4. Karbon aktif.
5. Aquades/Air Mineral

3.5 Metodologi Penelitian

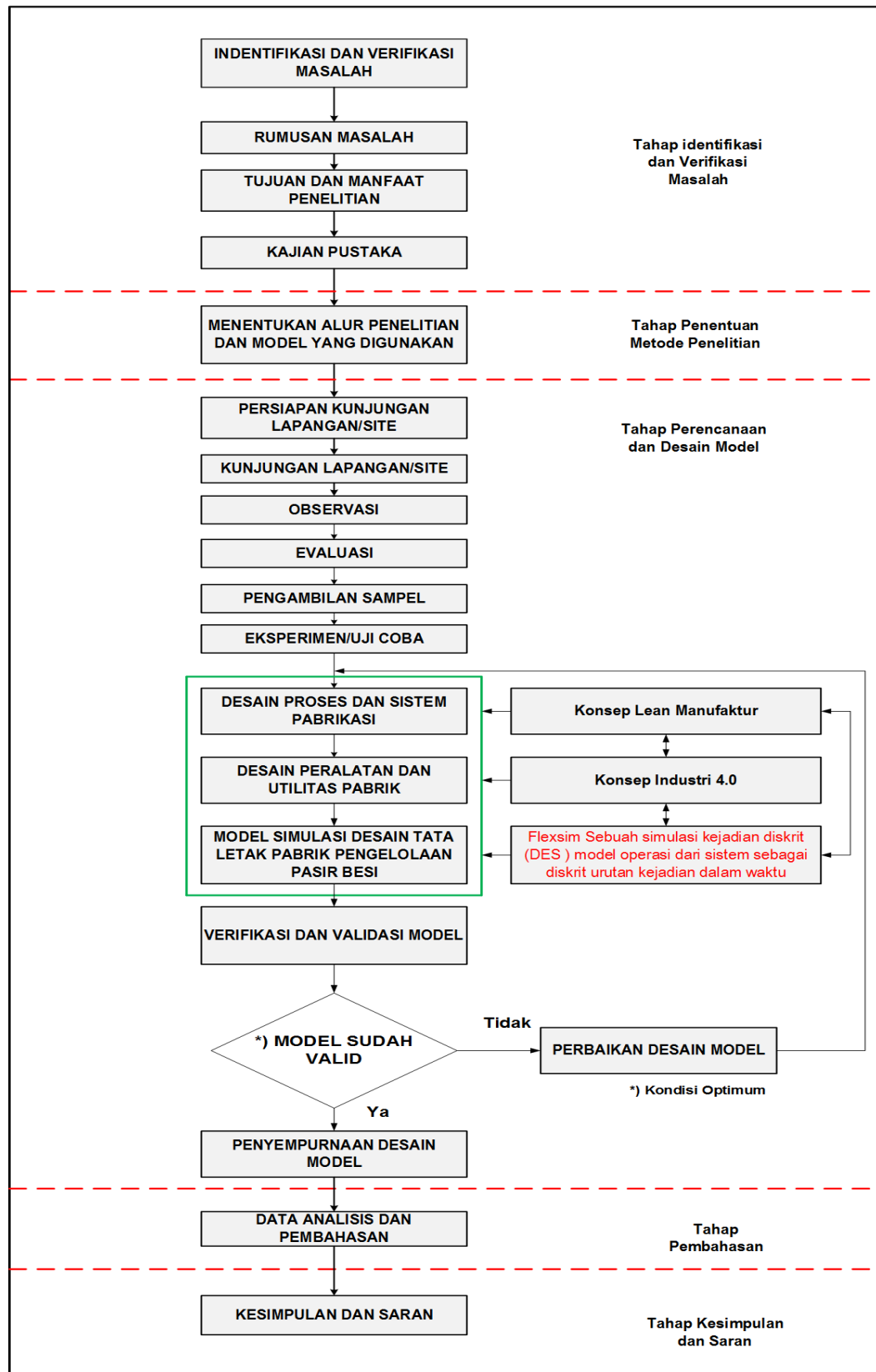
Untuk metode penelitian yang dilakukan, secara garis besar aliran proses penelitian ini terbagi menjadi 5 (lima) tahap yaitu:

1. Tahap identifikasi dan verifikasi masalah.
2. Tahap penentuan metode pemecahan masalah.
3. Tahap perencanaan desain model.
4. Tahap data analisis dan pembahasan.
5. Tahap kesimpulan dan saran.

Kelima tahap tersebut merupakan panduan atau acuan dalam proses penyelesaian penelitian ini. Kemudian kelima tahapan tersebut terbagi lagi menjadi beberapa alur di dalamnya.

Dengan aliran penelitian seperti ini maka dapat mempermudah serta memperjelas langkah-langkah penelitian, apa saja yang harus dilakukan dari proses awal sampai penelitian ini selesai dilakukan. Sehingga penelitian ini lebih fokus dan lebih terarah pada permasalahan yang diteliti.

Secara garis besar kelima tahapan penelitian ini akan diterangkan oleh diagram alur penelitian yang terdapat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Tahap Penelitian

3.5.1 Tahap Identifikasi dan Verifikasi Masalah

Tahap ini dimulai dengan melakukan identifikasi dan verifikasi masalah dari penelitian yang dilakukan. Mengidentifikasi dan memverifikasi permasalahan yang sering ditemukan dalam proses produksi besi pellet/besi *sponge*. Identifikasi dilakukan untuk mengetahui permasalahan mengenai proses produksi besi pellet/besi *sponge*, kemudian diverifikasi sebagai bahan untuk menyelesaikan permasalahan.

Kemudian dibuat tujuan penelitian yaitu memodelkan konsep pengelolaan pasir besi dengan teknologi industri 4.0. Selanjutnya membangun model simulasi tata letak pabrik, dengan integrasi konsep teknologi tata letak pabrik, *smart factory*, serta konsep *Lean Manufacturing* dalam pengelolaan pasir besi menjadi besi pellet/besi *sponge*.

Langkah terakhir dalam tahap ini adalah kajian literatur dengan tujuan untuk lebih memahami penelitian ini. Kajian literatur yang dilakukan dengan membaca buku, paper/jurnal, proseding, dan laporan penelitian lainnya. Kajian literatur yang dilakukan untuk memahami konsep serta teori dasar yang digunakan, cara menyelesaikan permasalahan penelitian, metode yang digunakan dan lain sebagainya. Kajian literatur ini penting untuk dilakukan karena menjadi landasan dasar penyelesaian dalam sebuah penelitian. Kajian literatur juga membantu dalam persiapan memperkirakan data-data yang dibutuhkan dalam proses penelitian.

3.5.2 Tahap Penentuan Metode penelitian

Pada tahap ini dilakukan menentukan model alur proses penelitian dan metode penelitian. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah model eksperimental, perencanaan dan perancangan (desain), untuk membangun tata letak pabrikasi, peralatan, serta utilitas yang mendukung terciptanya kondisi kerja yang optimal dalam pengelolaan pasir besi menjadi besi pellet/besi *sponge*.

3.5.3 Tahap Perencanaan dan Desain Model

Sesuai dengan tujuan penelitian maka tahapan penyelesaian dan pemecahan masalah tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Persiapan pengambilan conto, dengan mempersiapkan peralatan yang akan digunakan dalam kunjungan lapangan, ini dilakukan untuk mendukung obeservasi dan evaluasi lapangan dalam pengambilan conto pasir besi.
2. Setelah conto didapat kemudian dilakukan eksperimen pembuatan besi pellet/besi *sponge*.
3. Selanjutnya mengetahui kandungan kimia dan fisika dari besi pellet/besi *sponge* hasil eksperimen ini, dilakukan uji laboratorium, tujuannya untuk mengetahui nilai unsur kimia yang terkandung didalamnya. Tujuan dilakukan analisis kimia mempermudah rancangan aliran proses produksi besi pellet/besi sponge skala pabrikasi, sesuai karakteristik kimia dan fisika bahan baku yang akan digunakan.
4. Membuat aliran proses produksi besi pellet/besi sponge disesuaikan dengan karakteristik kimia dan fisika bahan baku (conto).
5. Sesuai dengan aliran proses produksi, kemudian dibuat perencanaan, perancangan (desain) dan sistem produksi untuk tata letak pabrikasi sesuai model industri 4.0, dengan menggunakan konsep teknologi tata letak pabrik, konsep *smart factory*, dan konsep *lean manufacturing*.
6. Memverifikasi dan memvalidasi hasil desain yang dibuat.
7. Menyempurnakan desain model

3.5.4 Tahap Data Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini menganalisis data yang akan digunakan dalam tahap perencanaan dan perancangan (desain), kemudian membahas hasil perencanaan dan perancangan, kemudian hasilnya dibandingkan apakah ada hasil penelitian lainnya supaya tidak terjadi penjiplakan (plagiat), dan membahas mengimplementasinya dilapangan (*site*).

3.5.5 Tahap Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini memberi kesimpulan terhadap hasil tahap pembahasan untuk ditindaklanjuti agar perencanaan dan perancangan tata letak letak model industri 4.0 (i4.0) lebih sempurna dalam hal desain dan pengaplikasiannya. Selanjut pada tahap akhir penelitian ini, peneliti memberikan saran untuk perbaikan selanjutnya yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja proses produksi pembuatan besi *sponge* yang lebih optimal.

BAB 4

DATA ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data terpakai dalam penelitian ini adalah data, kapasitas cadangan pasir besi, aliran proses penambangan pasir besi, aliran proses produksi besi pellet, dan perencanaan dan desain model simulasi. Dalam BAB 4 ada 2 (dua) subbab yaitu Data Analisis dan Pembahasan.

4.1 Data Analisis

Data yang akan dianalisis merupakan data primer dan data sekunder meliputi data kapasitas cadangan pasir besi, aliran proses penambangan pasir besi, aliran proses produksi besi pellet, dan Kebutuhan data untuk perencanaan dan desain simulasi tata letak pabrik besi *sponge*.

4.1.1 Perencanaan dan Perancangan Model Simulasi Usulan

Dalam perencanaan dan perancangan model simulasi usulan terdiri beberapa tahap perencanaan dan perancangan, yang penjelasannya adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan Kapasitas Cadangan Pasir Besi

Dalam menghitung kapasitas cadangan pasir hasil eksplorasi berdasarkan SNI 13-6011-1999 (klasifikasi sumber daya dan cadangan pasir besi) terdapat beberapa perhitungan cadangan. Untuk penelitian ini berupa perhitungan kapasitas cadangannya berupa sumber daya endapan pasir besi Terkira, adalah sumber daya tertunjuk hasil studi kelayakan tambang. Berdasarkan hasil penelitian Pusat Sumber Daya Geologi – Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2014, kapasitas cadangan pasir besi di Kecamatan Cipatujah, Kabupaten

Tasikmalaya-Provinsi Jawa Barat adalah sebesar **1.302.000 ton** dan di Pulau Jawa sebesar **173.810.400 ton**.⁵⁰

2. Pengambilan Contoh Pasir Besi

Dalam pengambilan contoh pasir besi di lapangan dapat dilaksanakan dengan 2 (dua) yakni *increment* atau *Riffle splitter*. Contoh harus homogen dari setiap interval kedalaman. Contoh harus representatif akan menjamin ketelitian dalam analisis kimia, perhitungan sumber daya atau cadangan dari endapan pasir besi pantai.

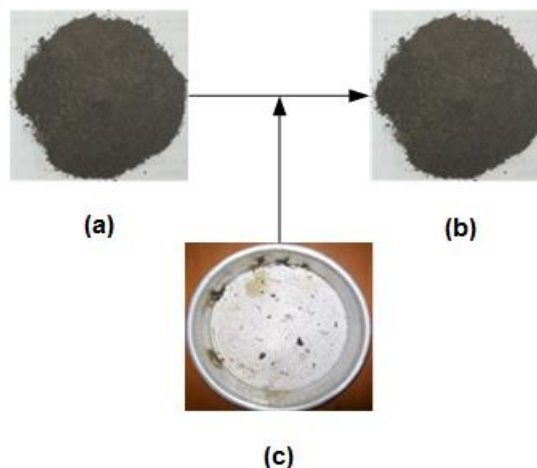
3. Proses Pembuatan Besi Pellet/Besi *Sponge* dari Contoh Pasir Besi

Proses pembuatan Besi Pellet/Besi *Sponge* dalam penelitian ini, prosesnya ada 2 (dua) tahapan yaitu:

a. Preparasi Contoh Pasir Besi

Proses preparasi contoh pasir besi dilakukan dengan 4 (empat) tahapan yaitu:

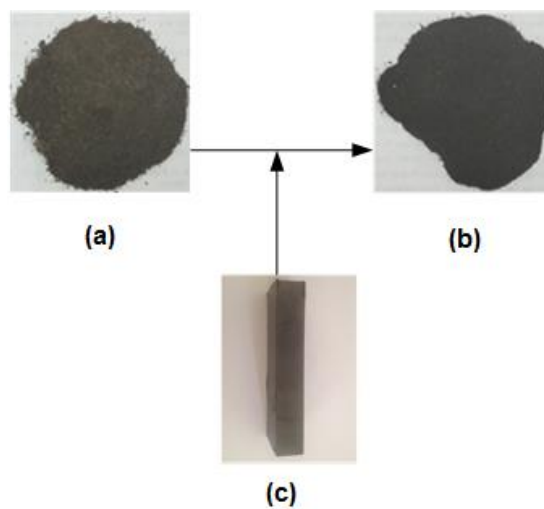
- 1) Contoh pasir besi disaring menggunakan saringan/*screen* No. 3 yaitu pemisahan pasir besi dari kotoran.



Gambar 4.1 (a) Contoh Pasir Besi, (b) Pasir Besi Hasil *Screen* No. 3, (c) *Screen* No 3

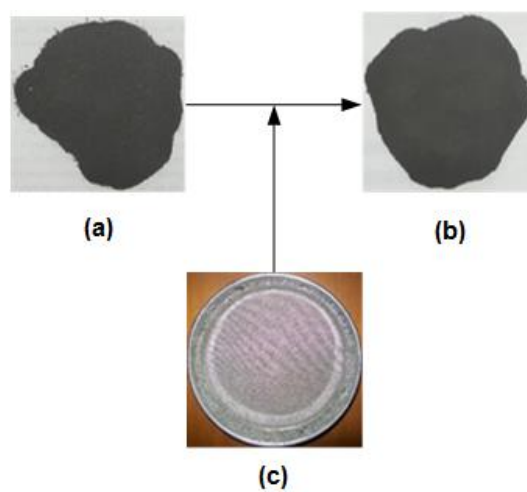
⁵⁰ Pusat Sumber Daya Geologi, 2014. Pasir Besi di Indonesia Geologi, Eksplorasi dan Pemanfaatannya, Hal. 80

- 2) Conto pasir besi hasil *screen* No. 3 dipisahkan dari pengotor dengan menggunakan magnet.



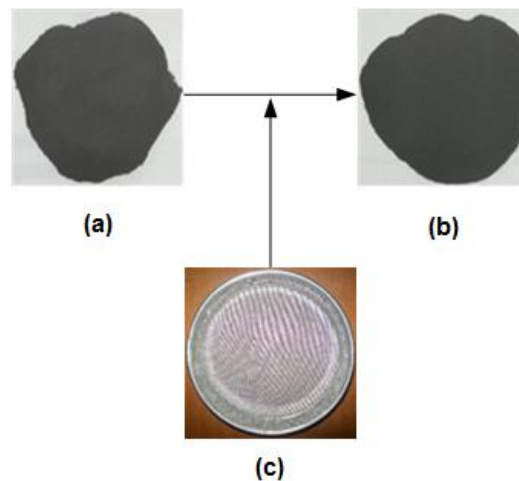
Gambar 4.2 (a) Pasir Besi Hasil *Screen* No. 3, (b) Pasir Besi Hasil Pemisahan Magnetik, (c) Magnet Separator

- 3) Conto pasir besi yang sudah dipisahkan dari pengotor selanjutnya disaring kembali dengan *screen* No.2 untuk mendapat hasil yang lebih halus dan dari pengotor.



Gambar 4.3 (a) Pasir Besi Hasil Pemisahan Magnetik, (b) Conto Pasir Besi Hasil *Screen* No. 2, (c) *Screen* No. 2

- 4) Selanjutnya conto hasil screen No.2, saring kembali dengan menggunakan screen No. 1 untuk mendapat hasil yang lebih halus dan dari pengotor.



Gambar 4.4 (a) Conto Pasir Besi Hasil Screen No. 2, (b) Conto Pasir Besi Hasil Screen No. 1, (c) Screen No. 1



Gambar 4.5 Proses Penyaringan Conto Pasir Besi

- 1) Proses Pembuatan Besi Pellet/Besi *Sponge*
 Besi Pellet/Besi *Sponge* yang akan dibuat berupa 3 (tiga) jenis Besi Pellet/Besi *Sponge* yaitu:
 - 1) Besi Pellet/Besi *Sponge* dengan bahan murni Besi Pellet/Besi *Sponge*.

Tapioka dipanaskan dengan mencampurnya dengan air mineral panas. Sesudah tercampur dengan homogen tuangkan pasir besi aduk sampai campuran tapioka dengan pasir besi tercampur rata (homogen). Tuangkan campuran diatas kedalam cetakan, susun cetakan di *plate*. Masukkan *plate* kedalam *microwave* setting *microwave* dengan suhu 400°C, dengan waktu 5 menit. Untuk bahan perekat digunakan tepung tapioka dengan campuran 5 : 1 yaitu pasir Besi 5 bagian dan tapioka 1 bagian atau kandungan tapioka 20%. Merekatkan konsentrat pasir besi.



Gambar 4.6 Besi Pellet/Besi *Sponge* Hasil Proses *Microwave*

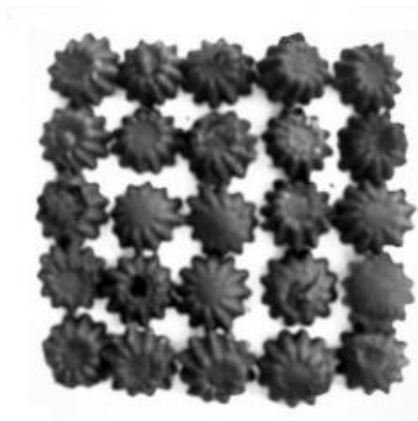
- 2) Besi Pellet/Besi *Sponge* dengan bahan pasir besi dan pasir silika. Tapioka dipanaskan dengan mencampurnya dengan air mineral panas. Sesudah campur pasir silika dengan tapioka aduk sampai homogen, tuangkan pasir besi aduk sampai campuran merata (homogen). Tuangkan campuran diatas kedalam cetakan, susun cetakan di *plate*. Masukkan *plate* kedalam *microwave* setting *microwave* dengan suhu 400°C, dengan waktu 5 menit. Suhu 400°C mengeringkan adonan besi pellet sampai ke dalam. Untuk bahan perekat digunakan teping tapioka dengan campuran 5 : 1: 1 yaitu pasir silika 5 bagian, pasir silika 1 bagian dan tapioka 1 bagian atau kandungan silika dan tapioka sama dengan 20%. Lebih merakat saat proses pengeringan.



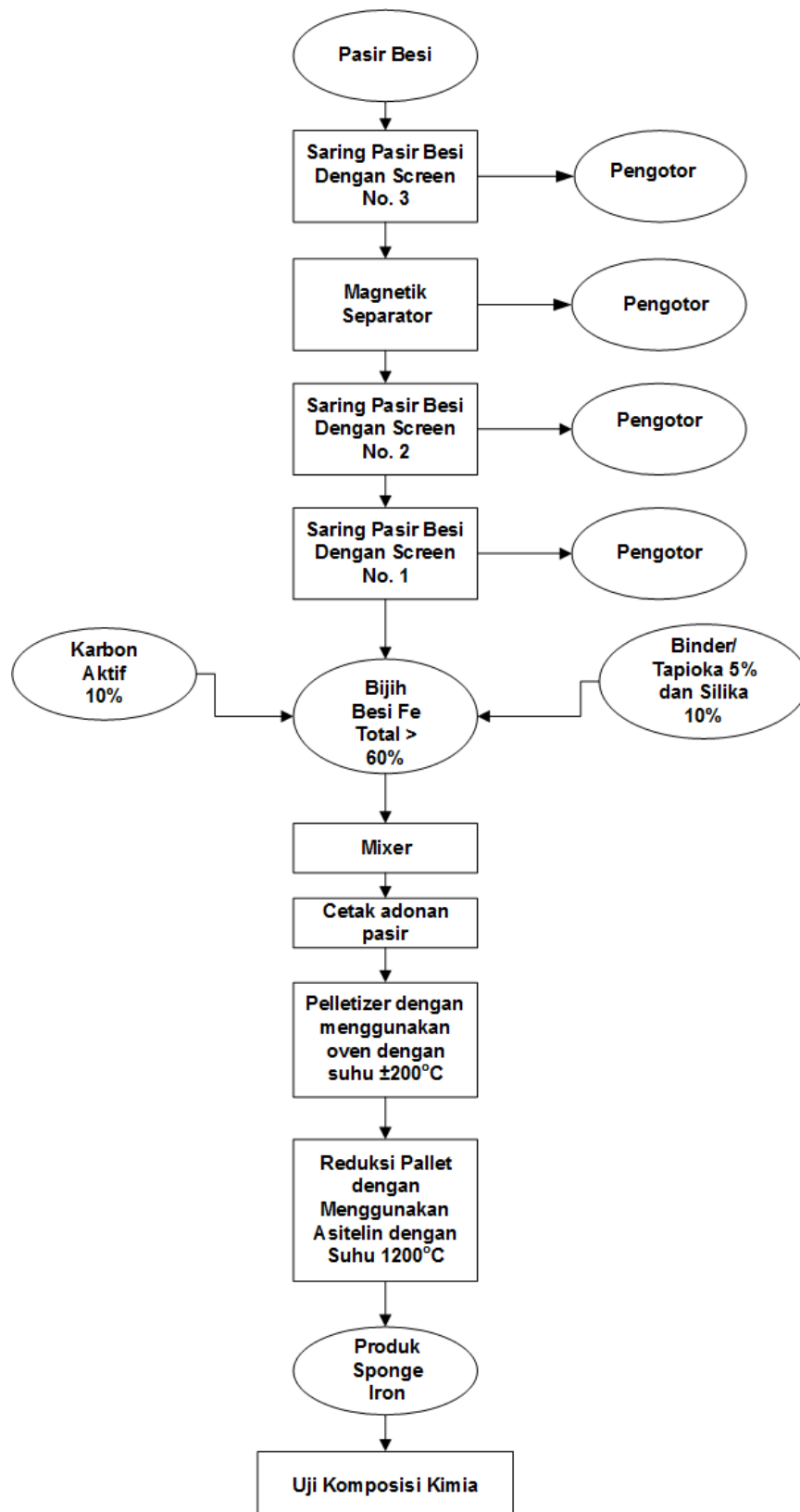
Gambar 4.7 Besi Pellet/Besi *Sponge* Campuran Silika Hasil Proses *Microwave*

- 3) Besi Pellet/Besi *Sponge* dengan bahan pasir besi dicampur karbon aktif.

Tapioka dipanaskan dengan mencampurnya dengan air mineral panas. Sesudah tercampur tuang karbon aktif aduk sampai campuran merata (homogen). Tuangkan campuran diatas kedalam cetakan, susun cetakan di plate. Masukkan plate kedalam *microwave* setting *microwave* dengan suhu 400°C, dengan waktu 5 menit. Untuk bahan perekat digunakan teping tapioka dengan campuran 5 : 1: 1 yaitu pasir silika 5 bagian, karbon aktif 1 bagian dan tapioka 1 bagian atau kandungan silika dan tapioka sama dengan 20%.



Gambar 4.8 Besi Pellet/Besi *Sponge* Campuran karbon aktif Hasil Proses *Microwave*



Gambar 4.9 Diagram Alur Eksperimen pembuatan Besi *Sponge*

Untuk membuang pengotor dari mesin screen 1, magnet separator, screen 2, screen1. Digunakan dust separator.

b. Hasil Uji Laboratorium Besi Pellet/Besi Sponge

Uji laboratorium berupa analisis kimia dilakukan di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. Sampel yang diuji terdiri dari 5 (lima) sampel berupa 2 (dua) conto yaitu pasir besi dipermukaan (A-5), conto pasir besi dikedalaman 2 meter kebawah (A-4), serta 3 (tiga) produk hasil eksperimen yaitu Besi Pellet A-1 (konsentrat pasir besi ditambah tapioka sebagai binder), Besi Pellet/Besi *Sponge* Pellet A-2 (konsentrat pasir besi + Pasir silika ditambah tapioka sebagai binder), dan Besi Pellet A-3 (konsentrat pasir besi+ Karbon Aktif ditambah tapioka sebagai binder). conto pasir besi dan produk hasil eksperimen berupa Besi Pellet/Besi *Sponge* yang merupakan pasir besi Cipatujah, Kabupaten Tasikmalaya-Provinsi Jawa Barat.

Berdasarkan hasil uji Laboratorium yang dilakukan oleh Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), Badan Penelitian Pengembangan Industri-Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, maka hasil uji analisis kimia dengan metode ASTM C 575-05 dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Uji Kimia Contoh pasir besi dan Besi Pellet/Besi *Sponge*

Deskripsi	Besi Pellet			Conto	
	A-1	A-2	A-3	A-4	A5
SiO ₂	1,91%	1,02%	5,06%	5,68%	61,84%
Fe ₂ O ₃	85,61%	86,34%	82,29%	82,22%	33,35%
Al ₂ O ₃	0,68%	0,72%	0,70%	0,69%	6,04%
Fe	59,93%	60,44%	57,60%	57,55%	23,34%
Mn	1,32%	0,96%	0,87%	0,95%	0,79%
TiO ₃	9,98%	10,46%	10,97%	9,96%	7,48%
Berat Jenis	1,75	1,70	1,69	1,69	1,67

c. Perencanaan dan Desain Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi Sponge Model Industri 4.0 (i4.0)

Konsep model industri 4.0 (i4.0) dipilih untuk dalam perencanaan dan desain tata letak pabrik besi pellet/besi *sponge*, konsep ini lebih unggul dari konsep model teknologi sebelumnya (industri 3.0) berupa pabrik cerdas (*smart factory*) yaitu memungkinkan pabrik menghadapi proses bisnis yang dinamis sehingga memungkinkan terjadinya perubahan proses, bahkan hingga saat-saat akhir sebuah proses produksi. Teknologi ini memiliki kemampuan untuk merespon terjadinya gangguan dan kegagalan dengan fleksibel, misalnya gangguan akibat terlambatnya pasokan dari vendor. Transparansi proses mulai dari awal sampai akhir selma proses manufaktur/produksi, ini dapat mendukung proses pengambilan keputusan dengan optimal.

Perancangan tata letak pabrik model industri 4.0 (i4.0) untuk penelitian ini yaitu mengintegrasikan beberapa konsep terdiri dari konsep *lean manufacturing*, konsep *smart factory*, konsep *smart layout*, kemudian dituangkan dalam model simulasi. Sebelum melakukan integrasi dari konsep tersebut maka harus diketahui persyaratan (*requirement*) masing-masing konsep tersebut agar hasilnya integrasi tersebut sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

Adapun persyaratan masing-masing konsep untuk tata letak pabrik model industri 4.0 (i4.0) adalah sebagai berikut:

- a. Persyaratan (Requirement) dari Industri 4.0 (i4.0) untuk *Smart Factory* terdiri dari prinsip perancangan dan prinsip kebutuhan ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Persyaratan dari Industri 4.0 (i4.0) untuk *Smart Factory*.^{51, 52}

No.	Kode	Persyaratan	Prinsip
1	R-1	Perkakas Mesin Modular/Stasiun Kerja Modular	P-1, P-6
2	R-2	Peralatan Material Handling Modular	P-1, P-3
3	R-3	Area Kerja yang Multi Skill	P-1
4	R-4	<i>Reconfigurable fixture</i>	P-1
5	R-5	<i>Reconfigurable tools</i>	P-1, P-2
6	R-6	Infrastruktur Standar	P-1, P-6
7	R-7	Komunikasi Standar dan Cyber-Physical System (CPS)	P-2
8	R-8	<i>Embedded computer</i>	P-2, P-3
9	R-9	<i>Sharing meaningful information</i>	P-2
10	R-10	Komunikasi Aman	P-2
11	R-11	<i>Collaborative behavior</i>	P-2
12	R-12	Modular and decentralized control architecture	P-3
13	R-13	Produk Pintar	P-3
14	R-14	Bangunan Sistem Virtual	P-4
15	R-15	<i>Capturing actual factory</i>	P-4
16	R-16	<i>Virtual reader</i>	P-4
17	R-17	<i>Virtual interfaces with CPS</i>	P-4
18	R-18	<i>Standardized virtual modelling language</i>	P-4
19	R-19	<i>After-sale services</i>	P-5
20	R-20	<i>Offering core processes as services</i>	P-5
21	R-21	<i>Cloud computing</i>	P-5
22	R-22	<i>Cloud connection</i>	P-6
23	R-23	<i>Online data analysis</i>	P-6
24	R-24	<i>Customization and real-time capability</i>	P-6
25	R-25	<i>Online monitoring and control</i>	P-6
26	R-26	<i>Healability</i>	P-6

Keterangan:

P-1 = Modularity.
P-2 = Interoperability.
P-3 = Decentralization.
P-4 = Virtualization.
P-5 = Service orientation.
P-6 = Real-time capability (responsiveness).

⁵¹ Mabkhot, 2018. *Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective*, Hal. 7.

⁵² Koska Et. al., 2017. *Measuring the Maturity of a Factory for Industry 4.0*, Hal. 54

- b. Persyaratan (*Requirement*) dari Industri 4.0 (i4.0) untuk *Lean Manufacturing* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Persyaratan dari Industri 4.0 (i4.0) untuk *Lean Manufacturing*.⁵³

Kode	Persyaratan
Process Factors	
L-1	Produksi Sistem Tarik
L-2	Aliran Produksi <i>Continuous</i>
L-3	Pengurangan Waktu Setup
Supplier Factors	
L-4	<i>Supplier Feedback</i>
L-5	<i>Supplier Development</i>
L-6	<i>Just In Time (JIT) Delivery by Suppliers</i>
Customers Factor	
L-7	<i>Customers Involvement</i>
Control and Human Factors	
L-8	<i>Total Productive Maintenance (TPM)</i>
L-9	<i>Statistical Process Control (SPC)</i>
L-10	<i>Employee Involvement</i>

- c. Persyaratan (*Requirement*) dari Industri 4.0 (i4.0) untuk *Smart Layout* terdiri dari 3 (tiga) tipe layout yaitu:
- 4) *Modular Layout*.
 - 5) *Cellular Layout*.
 - 6) *Flexible Layout*.

Data yang diperlukan untuk perencanaan dan perancangan (Desain) Tata Letak Pabrik Besi Pellet Model Industri 4.0 (i4.0) yaitu:

- a. Penentuan umur operasional pabrik, dalam hal ini umur operasional pabrik yang direncanakan dan dirancang. Perencanaan dan perancangan umur pabrik dalam penelitian ini adalah **25 tahun**,

⁵³ Sanders, 2016. *Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing*. Journal of Industrial Engineering and Management, Hal. 815

karena dengan menentukan umur operasional pabrik kapasitas produksi yang direncanakan baik itu kapasitas produksi per tahun, per bulan, per hari, serta per jam dapat dihitung dengan tepat. Alasan umur operasional 25 tahun didasarkan oleh faktor dari umur peralatan dan utilitas, serta perkembangan teknologi proses dalam pembuatan besi *sponge*.

- b. Data perencanaan kapasitas produksi per tahun, per bulan, dan per hari berdasarkan umur operasional pabrik. Dengan mengetahui umur operasional pabrik, maka data perencanaan kapasitas per tahun, per bulan, dan per hari dapat dibuat,. Berdasarkan cadangan terkira untuk daerah tambang yang diteliti sebesar **1.302.000 ton**, maka kapasitas produksi per tahun sebesar **52.080 ton**, per bulan **4.240 ton**, kapasitas produksi per hari **173,6 ton**, kapasitas produksi per jam **24,80 ton**, serta kapasitas produksi per menit **0,41 ton**. Dengan menggunakan estimasi dalam 1 tahun = 12 bulan, 1 bulan = 25 hari kerja, 1 hari = 7 jam kerja, serta 1 jam = 60 menit.
- c. Dengan mengetahui kapasitas produksi terpasang maka, penentuan infrastruktur, kapasitas utilitas, mesin, serta peralatan yang akan dipergunakan dalam perencanaan dan perancangan model simulasi proses memproduksi besi pellet/besi *sponge* akan lebih mudah. Untuk penelitian ini kebutuhan utilitas, peralatan dan mesin untuk model simulasi yang akan dibuat dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Perencanaan Kebutuhan Utilitas dan Mesin Pabrik Besi Pellet

No	Deskripsi	Jumlah	Ukuran (m)	satuan
1	Mesin Screen 3.	1	4 x 4 x 4	unit
2	Mesin Magnet Separator	1	5 x 3 x 2	unit
3	Mesin Screen 2	1	4 x 4 x 4	unit
4	Mesin Screen 1	1	4 x 4 x 4	unit
5	Mesin Mixing 1	1	Ø5 x 4	unit
6	Mesin Mixing 2	1	Ø5 x 4	unit
7	Mesin Cetak	1	5 x 3 x 2	unit
8	Oven Besi Pellet	1	8 x 2 x 2	unit

Tabel 4.4 Perencanaan Kebutuhan Utilitas dan Mesin
Pabrik Besi Pellet (Lanjutan)

No	Deskripsi	Jumlah	Ukuran (m)	satuan
9	Oven Besi <i>Sponge</i>	1	8 x 2 x 2	unit
10	Mesin Packaging	1	4 x 2 x 2	unit
11	Peralatan Kontrol	1	6 x 1 x 1	set
12	Main Komputer	1	4 x 3	set
13	Peralatan Laboratorium	2	6 x 4	set

Perencanaan Kebutuhan utilitas dan mesin, yang dirancang sudah termasuk utilitas transfer antar mesin dan antar departemen. Utilitas transfer yang dipakai berupa Konveyor Belt dan Sistem Pipa.

Perencanaan dan perancangan tata letak pabrik, perancangan awalnya berdasarkan diagram alur eksperimen pembuatan besi *sponge*. Dalam perencanaan dan perancangan luas lantai, dibatasi hanya untuk luas lantai manufaktur, tidak untuk luas lantai keseluruhan pabrik. Karena keterbatasan waktu dan keterbatasan perangkat lunak simulasi (*student version*) yang dipergunakan untuk merancang proses simulasi.

Untuk perencanaan dan perancangan di manufaktur dibagi menjadi 3 (tiga) departemen yaitu: Departemen Preparasi, Departemen Proses, serta Departemen Finishing Goods, ini dirancang untuk memudahkan dalam perancangan simulasi, karena keterbatasan kapasitas perangkat lunak berupa *Software FlexSim 2018* versi *student* yang dibatasi hanya 30 (tiga puluh) utilitas/fasilitas yang dapat digunakan dalam 1 (satu) kali perancangan.

Dalam perencanaan dan perancangan luas lantai disesuaikan dengan utilitas, mesin, serta peralatan, maka perhitungan luas lantai yang direncanakan dan dirancang dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.5 Perhitungan Luas Lantai Tata Letak Pabrik Besi *Sponge*

No	Deskripsi	Luas (m ²)	Allowance (200%)	Sub Total (m ²)
1	Screen 3.	16,00	32,00	48,00
2	Magnet Separator	15,00	30,00	45,00
3	Screen 2	16,00	32,00	48,00
4	Screen 1	16,00	32,00	48,00
5	Mixing 1	15,70	31,40	47,10
6	Mixing 2	15,70	31,40	47,10
7	Mesin Cetak	15,00	30,00	45,00
8	Oven Besi Pellet	16,00	32,00	48,00
9	Oven Besi <i>Sponge</i>	16,00	32,00	48,00
10	Mesin Packaging	8,00	16,00	24,00
11	Peralatan Kontrol	12,00	24,00	36,00
12	Main Komputer	12,00	24,00	36,00
13	Peralatan Laboratorium	48,00	96,00	144,00
14	Office Equipment	60,00	120,00	180,00
15	Binder Material dan Buffer Storage	40,00	80,00	120,00
16	Ruang Perkakas	24,00	48,00	72,00
Total Luas (m²)		345,40	690,80	1.036,20
No	Deskripsi	Luas ±100% dari Total Luas Fasilitas Pabrik		Sub Total
16	Jalan dan Gang Dalam Pabrik	1.063,80		1.063,80
Total Luas Keseluruhan (m²)				2.100,00

Adapun rancangan tata letak pabrik besi *sponge* model industri 4.0 (i4.) berdasarkan persyaratan dilihat di Lampiran L.

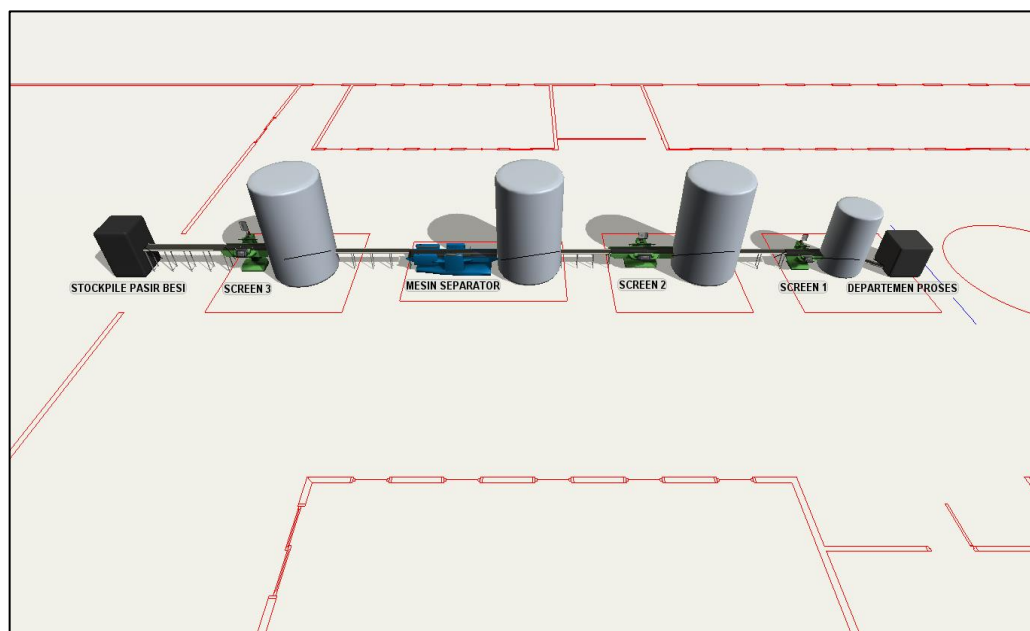
d. Model Awal Simulasi Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi *Sponge* Industri 4.0 (i4.0)

Simulasi pada Tata Letak Pabrik Besi *Sponge* model Industri 4.0 (i4.0) inputnya didasarkan pada layout hasil perencanaan dan perancangan (Lampiran L). Tata Letak Pabrik yang direncanakan dan dirancang, dengan kapasitas produksi terpasang 4.240 ton per bulan, dengan Skala 1 :100.

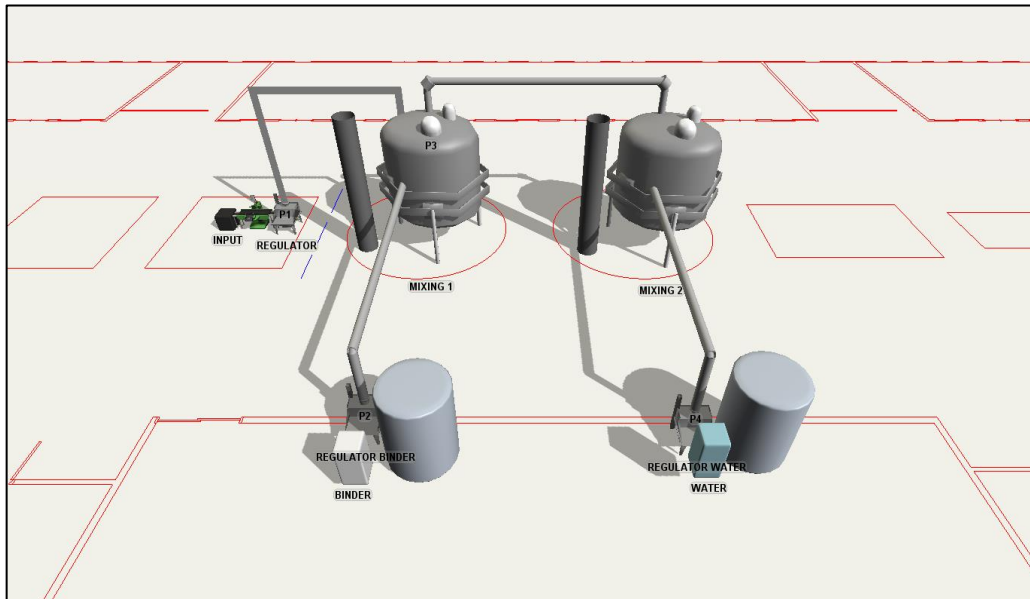
Model awal sebagai tahap awal dalam perancangan yang didasarkan pada aspek tata letak saja dengan dasar diagram proses untuk eksperimen.

Dengan kapasitas produksi 4.240 ton per bulan, maka dengan perencanaan hari kerja per bulan yaitu 25 hari kerja, dan 8 jam per hari maka untuk kapasitas terpasang untuk masing-masing infrastruktur, mesin, dan peralatan harus lebih besar dari kapasitas produksi. Estimasi untuk infrastruktur, mesin, serta peralatan mempunyai efisiensi sebesar 85%, maka kapasitas infrastruktur, mesin, dan peralatan yang akan dipasang yaitu: $4.240/85\% = 4.988,24 \approx 5.000$ ton per bulan, 200 ton per hari, dan 28,57 ton per jam atau 0,48 ton per menit.

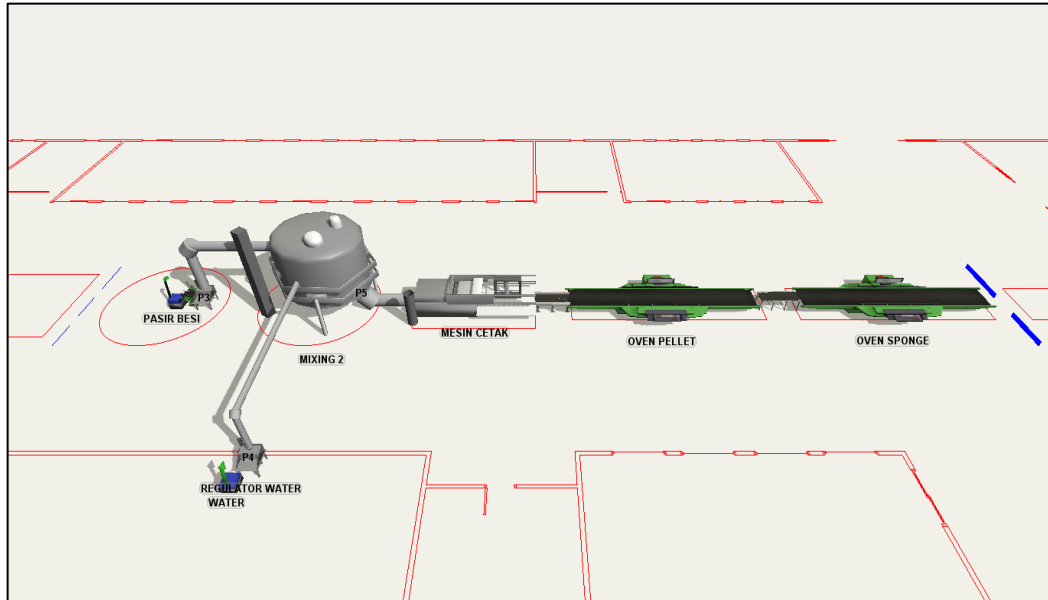
Selanjutnya dibuat model simulasi tata letak pabrik besi pellet/*sponge*. Model simulasi tata letak pabrik tersebut dibuat dengan menggunakan *Software FlexSim 2018 Versi Student*. Hasil model simulasi tata letak pabrik besi pellet/*sponge* dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



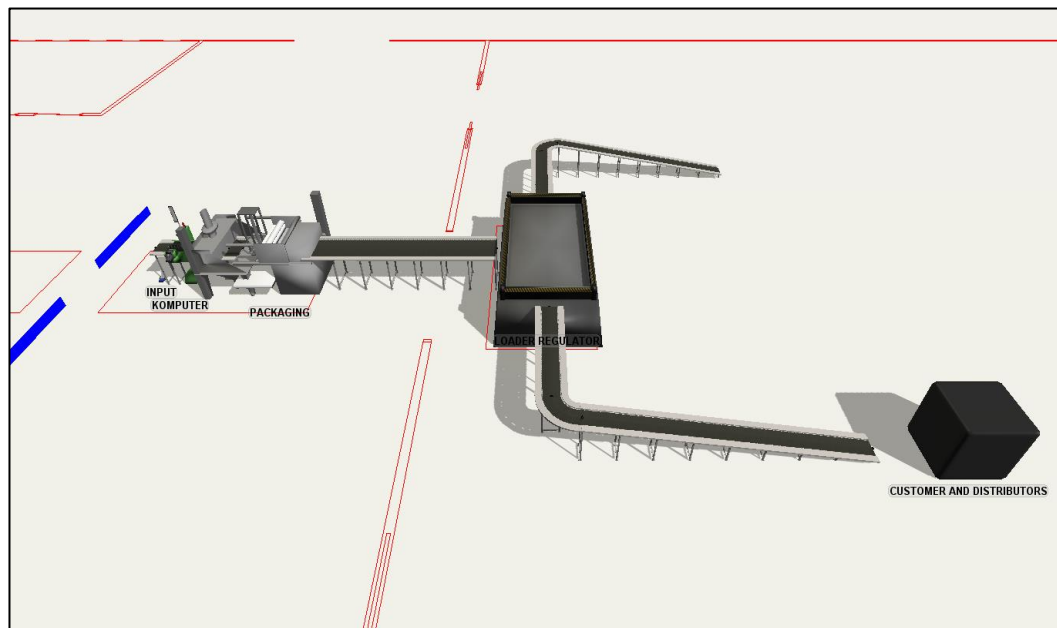
Gambar 4.10 Model Simulasi *Software Flexsim 2018* Tata Letak Departemen Preparasi Pabrik Besi Pellet/*Sponge* Industri 4.0



Gambar 4.11 Model Simulasi *Software Flexsim 2018* untuk Tata Letak Departemen Proses Part-1 Pabrik Besi Pellet/Sponge Industri 4.0



Gambar 4.12 Model Simulasi *Software Flexsim 2018* untuk Tata Letak Departemen Proses Part-2 Pabrik Besi Pellet/Sponge Industri 4.0



Gambar 4.13 Model Simulasi *Software Flexsim* 2018 untuk Tata Letak Departemen Packaging Pabrik Besi Pellet/*Sponge* Industri 4.0

Selanjutnya model simulasi ini diuji coba dengan melakukan 30 kali simulasi, dengan parameter sesuai dengan perencanaan. Hasil simulasi ini berupa waktu proses.

Agar data hasil simulasi tersebut berupa waktu proses tersebut valid, maka dilakukan validasi data. Validasi data dilakukan dengan menggunakan uji statistik, dengan menggunakan metode pengendalian kualitas statistik/*statistics process control* (SPC) dengan perhitungan manual dibantu oleh *Microsoft Excel* 2019, dan *Software Minitab* Versi 17, yang selanjutnya dapat dijadikan parameter kinerja untuk mengukur nilai produktivitas dari model simulasi tata letak pabrik yang dibuat. Adapun waktu proses hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada Tabel-Tabel berikut dibawah.

Tabel 4.6 Waktu Proses Hasil Simulasi Stockpile

Simulasi Waktu Proses		
Departemen : <i>Preparation</i>		
Stasiun Kerja : <i>Stockpile</i>		
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	x ²
1	8,27	68,393
2	8,28	68,558
3	8,27	68,393
4	8,27	68,393
5	8,27	68,393
6	8,28	68,558
7	8,28	68,558
8	8,27	68,393
9	8,29	68,724
10	8,27	68,393
11	8,28	68,558
12	8,27	68,393
13	8,27	68,393
14	8,28	68,558
15	8,27	68,393
16	8,28	68,558
17	8,27	68,393
18	8,27	68,393
19	8,28	68,558
20	8,27	68,393
21	8,28	68,558
22	8,27	68,393
23	8,29	68,724
24	8,27	68,393
25	8,27	68,393
26	8,28	68,558
27	8,27	68,393
28	8,28	68,558
29	8,27	68,393
30	8,27	68,393
Mean	8,27	68,470
Σ	248,24	2054,104
(S)²	61623,10	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 \approx 6$$

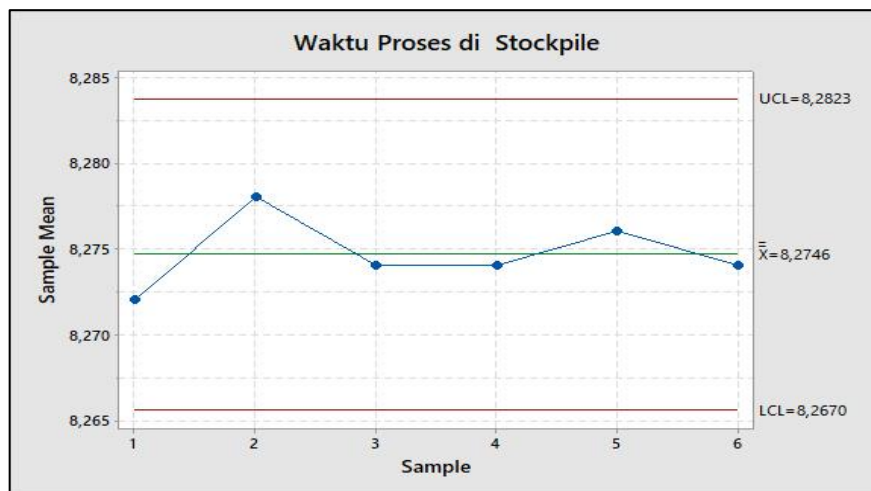
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,270	8,280	8,270	8,270	8,270	8,272
2	8,280	8,280	8,270	8,290	8,270	8,278
3	8,280	8,270	8,270	8,280	8,270	8,274
4	8,280	8,270	8,270	8,280	8,270	8,274
5	8,280	8,270	8,290	8,270	8,270	8,276
6	8,280	8,270	8,280	8,270	8,270	8,274
Total						49,648

Nilai Rata-Rata Sub Group = 8,27467
 Standar Deviasi Populasi = 0,00623
 Standar Deviasi Sub Group = 0,00254
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,2823$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,2670$

• Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{K}{s} \sqrt{\frac{N \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}{\sum Xi}} \right]^2$$

N' = 0,002



Gambar 4.14 Diagram Kontrol Waktu Proses Stockpile

Tabel 4.7 Waktu Proses Hasil Simulasi Screen 3

Simulasi Waktu Proses		
Departemen : <i>Preparation</i>		
Stasiun Kerja : <i>Screen 3</i>		
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,16	66,586
2	8,16	66,586
3	8,17	66,749
4	8,19	67,076
5	8,16	66,586
6	8,18	66,912
7	8,18	66,912
8	8,17	66,749
9	8,16	66,586
10	8,16	66,586
11	8,16	66,586
12	8,17	66,749
13	8,19	67,076
14	8,16	66,586
15	8,18	66,912
16	8,18	66,912
17	8,17	66,749
18	8,16	66,586
19	8,17	66,749
20	8,16	66,586
21	8,17	66,749
22	8,18	66,912
23	8,17	66,749
24	8,16	66,586
25	8,17	66,749
26	8,17	66,749
27	8,16	66,586
28	8,16	66,586
29	8,19	67,076
30	8,16	66,586
Mean	8,17	66,738
Σ	245,08	2002,143
(S)²	60064,21	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

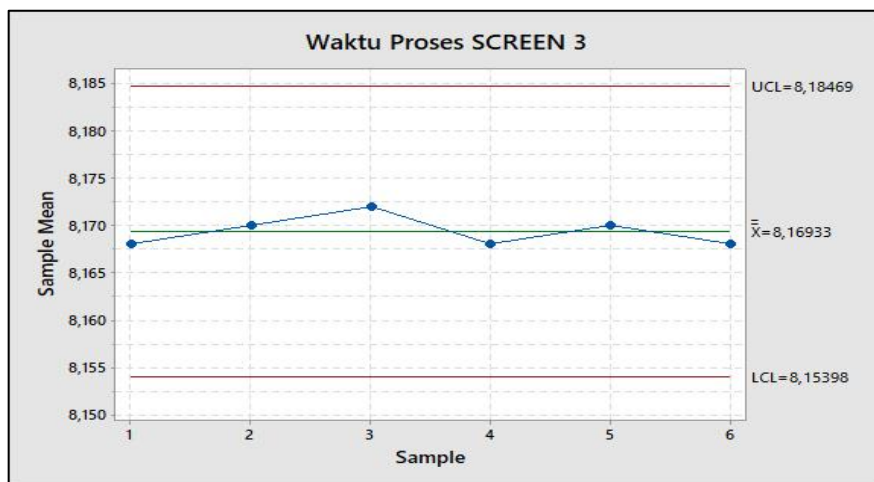
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,160	8,160	8,170	8,190	8,160	8,168
2	8,180	8,180	8,170	8,160	8,160	8,170
3	8,160	8,170	8,190	8,160	8,180	8,172
4	8,180	8,170	8,160	8,170	8,160	8,168
5	8,170	8,180	8,170	8,160	8,170	8,170
6	8,170	8,160	8,160	8,190	8,160	8,168
Total						49,016

Nilai Rata-Rata Sub Group = 8,1693
 Standar Deviasi Populasi = 0,0101
 Standar Deviasi Sub Group = 0,0041
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,182$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,157$

• Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{\frac{K}{s} \sqrt{N \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}}{\sum Xi} \right]^2$$

N' = 0,005



Gambar 4.15 Diagram Kontrol Waktu Proses Screen 3

Tabel 4.8 Waktu Proses Hasil Simulasi Separator

Simulasi Waktu Proses		
Departemen : <i>Preparation</i>		
Stasiun Kerja : <i>Separator</i>		
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,58	73,616
2	8,56	73,274
3	8,57	73,445
4	8,58	73,616
5	8,58	73,616
6	8,57	73,445
7	8,57	73,445
8	8,59	73,788
9	8,58	73,616
10	8,57	73,445
11	8,58	73,616
12	8,56	73,274
13	8,57	73,445
14	8,58	73,616
15	8,58	73,616
16	8,57	73,445
17	8,57	73,445
18	8,59	73,788
19	8,58	73,616
20	8,57	73,445
21	8,58	73,616
22	8,56	73,274
23	8,57	73,445
24	8,58	73,616
25	8,58	73,616
26	8,57	73,445
27	8,57	73,445
28	8,59	73,788
29	8,58	73,616
30	8,57	73,445
Mean	8,58	73,531
Σ	257,25	2205,921
(S)²	66177,56	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

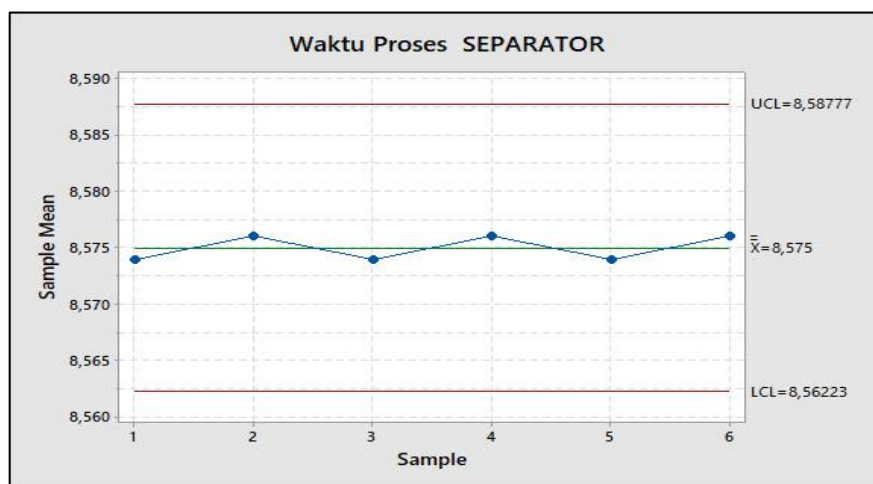
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,580	8,560	8,570	8,580	8,580	8,574
2	8,570	8,570	8,590	8,580	8,570	8,576
3	8,580	8,560	8,570	8,580	8,580	8,574
4	8,570	8,570	8,590	8,580	8,570	8,576
5	8,580	8,560	8,570	8,580	8,580	8,574
6	8,570	8,570	8,590	8,580	8,570	8,576
Total						51,450

Nilai Rata-Rata Sub Group = 8,575
 Standar Deviasi Populasi = 0,008
 Standar Deviasi Sub Group = 0,003
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,585$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,565$

• Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{\frac{K}{s} \sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right]^2$$

N' = 0,003



Gambar 4.16 Diagram Kontrol Waktu Proses Separator

Tabel 4.9 Waktu Proses Hasil Simulasi Screen 2

Simulasi Waktu Proses		
Departemen : <i>Preparation</i>		
Stasiun Kerja : <i>Screen 2</i>		
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,82	77,792
2	8,83	77,969
3	8,81	77,616
4	8,84	78,146
5	8,82	77,792
6	8,82	77,792
7	8,83	77,969
8	8,81	77,616
9	8,82	77,792
10	8,83	77,969
11	8,82	77,792
12	8,83	77,969
13	8,81	77,616
14	8,84	78,146
15	8,82	77,792
16	8,82	77,792
17	8,83	77,969
18	8,81	77,616
19	8,82	77,792
20	8,83	77,969
21	8,82	77,792
22	8,83	77,969
23	8,81	77,616
24	8,84	78,146
25	8,82	77,792
26	8,82	77,792
27	8,83	77,969
28	8,81	77,616
29	8,82	77,792
30	8,83	77,969
Mean	8,82	77,845
Σ	264,69	2335,362
(S)²	70060,80	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

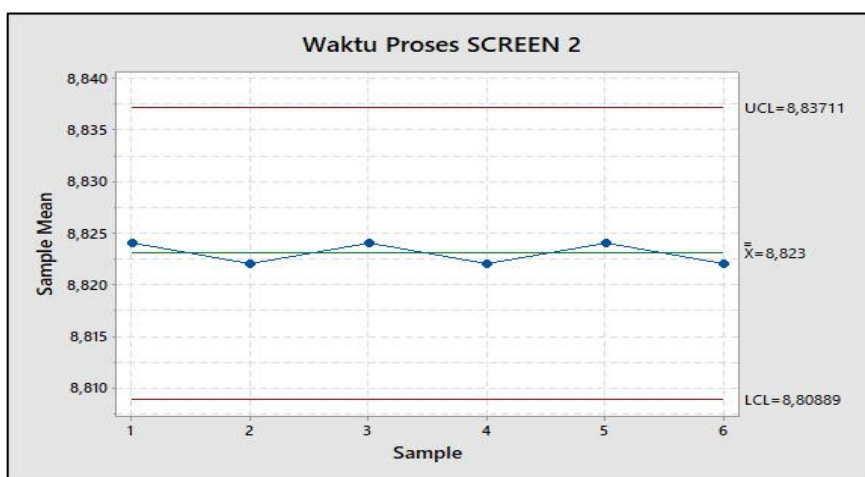
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,820	8,830	8,810	8,840	8,820	8,824
2	8,820	8,830	8,810	8,820	8,830	8,822
3	8,820	8,830	8,810	8,840	8,820	8,824
4	8,820	8,830	8,810	8,820	8,830	8,822
5	8,820	8,830	8,810	8,840	8,820	8,824
6	8,820	8,830	8,810	8,820	8,830	8,822
Total						52,938

Nilai Rata-Rata Sub Group = **8,823**
 Standar Deviasi Populasi = **0,009**
 Standar Deviasi Sub Group = **0,004**
 Tingkat Ketakinan K = **3**
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,834$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,812$

• Menguji kecukupan data

$$N' = \frac{\left[\frac{K}{S} \sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \right]^2}{\sum X_i}$$

N' = **0,004**



Gambar 4.17 Diagram Kontrol Waktu Proses Screen 2

Tabel 4.10 Waktu Proses Hasil Simulasi Screen 1

Simulasi Waktu Proses		
Departemen : <i>Preparation</i>		
Stasiun Kerja : <i>Screen 1</i>		
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,70	75,690
2	8,69	75,516
3	8,71	75,864
4	8,67	75,169
5	8,70	75,690
6	8,68	75,342
7	8,69	75,516
8	8,70	75,690
9	8,70	75,690
10	8,69	75,516
11	8,70	75,690
12	8,69	75,516
13	8,68	75,342
14	8,70	75,690
15	8,70	75,690
16	8,68	75,342
17	8,69	75,516
18	8,70	75,690
19	8,70	75,690
20	8,69	75,516
21	8,70	75,690
22	8,69	75,516
23	8,71	75,864
24	8,70	75,690
25	8,67	75,169
26	8,68	75,342
27	8,69	75,516
28	8,70	75,690
29	8,70	75,690
30	8,69	75,516
Mean	8,69	75,568
Σ	260,79	2267,051
(S)²	68011,42	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

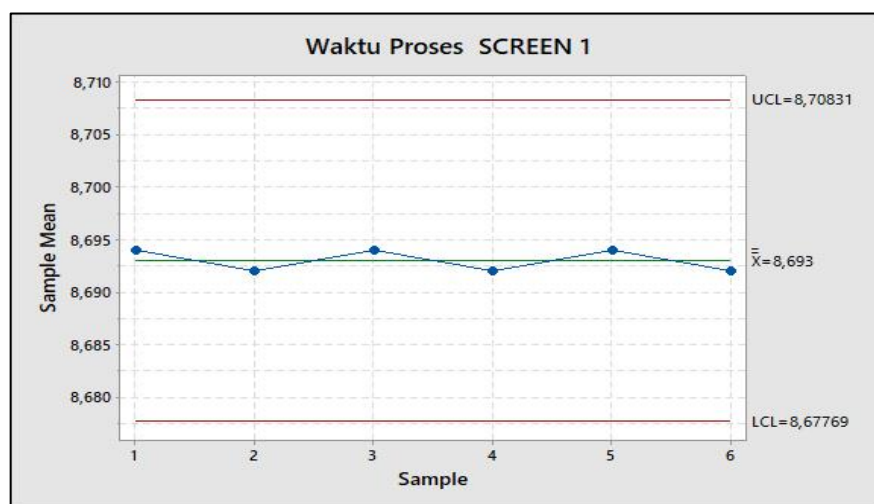
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,700	8,690	8,710	8,670	8,700	8,694
2	8,680	8,690	8,700	8,700	8,690	8,692
3	8,700	8,690	8,680	8,700	8,700	8,694
4	8,680	8,690	8,700	8,700	8,690	8,692
5	8,700	8,690	8,710	8,700	8,670	8,694
6	8,680	8,690	8,700	8,700	8,690	8,692
Total						52,158

Nilai Rata-Rata Sub Group = **8,693**
 Standar Deviasi Populasi = **0,010**
 Standar Deviasi Sub Group = **0,004**
 Tingkat Ketakinan K = **3**
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,705$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,681$

• Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{K}{S} \sqrt{N \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \right]^2$$

N' = **0,005**



Gambar 4.18 Diagram Kontrol Waktu Proses Screen 1

Tabel 4.11 Waktu Proses Hasil Simulasi Mixing 1

Simulasi Waktu Proses		
Departemen : Proses		
Stasiun Kerja : Mixing 1		
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,60	73,960
2	8,59	73,788
3	8,60	73,960
4	8,59	73,788
5	8,58	73,616
6	8,61	74,132
7	8,58	73,616
8	8,59	73,788
9	8,60	73,960
10	8,58	73,616
11	8,60	73,960
12	8,59	73,788
13	8,60	73,960
14	8,59	73,788
15	8,58	73,616
16	8,60	73,960
17	8,58	73,616
18	8,59	73,788
19	8,60	73,960
20	8,60	73,960
21	8,60	73,960
22	8,59	73,788
23	8,60	73,960
24	8,59	73,788
25	8,58	73,616
26	8,61	74,132
27	8,58	73,616
28	8,59	73,788
29	8,58	73,616
30	8,60	73,960
Mean	8,59	73,828
Σ	257,77	2214,848
(S)²	66445,37	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

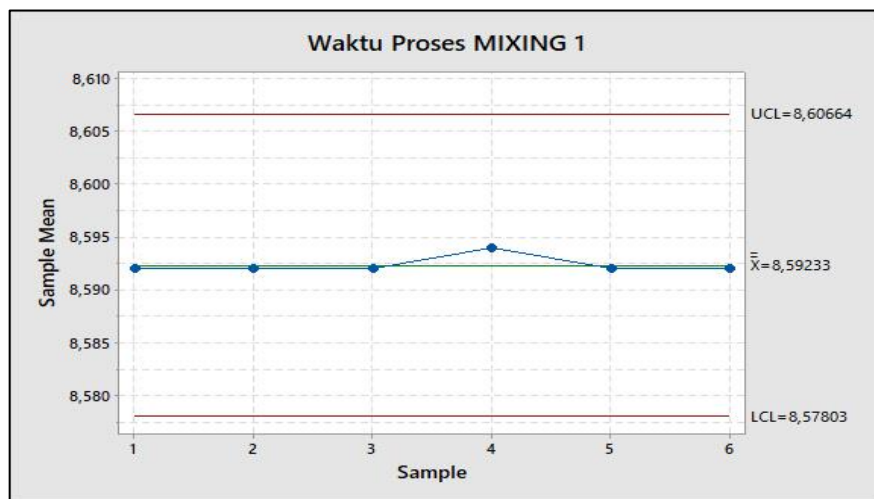
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,600	8,590	8,600	8,590	8,580	8,592
2	8,610	8,580	8,590	8,600	8,580	8,592
3	8,600	8,590	8,600	8,590	8,580	8,592
4	8,600	8,580	8,590	8,600	8,600	8,594
5	8,600	8,590	8,600	8,590	8,580	8,592
6	8,610	8,580	8,590	8,580	8,600	8,592
Total						51,554

Nilai Rata-Rata Sub Group = 8,592
 Standar Deviasi Populasi = 0,009
 Standar Deviasi Sub Group = 0,004
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,604$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,581$

• Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{K}{s} \sqrt{\frac{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{\sum X_i}} \right]^2$$

N' = 0,004



Gambar 4.19 Diagram Kontrol Waktu Proses Mixing 1

Tabel 4.12 Waktu Proses Hasil Simulasi Mixing 2

Simulasi Waktu Proses		
Departemen : Proses		
Stasiun Kerja : Mixing 2		
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,67	75,169
2	8,68	75,342
3	8,67	75,169
4	8,67	75,169
5	8,68	75,342
6	8,67	75,169
7	8,69	75,516
8	8,68	75,342
9	8,67	75,169
10	8,68	75,342
11	8,67	75,169
12	8,68	75,342
13	8,67	75,169
14	8,67	75,169
15	8,68	75,342
16	8,67	75,169
17	8,69	75,516
18	8,68	75,342
19	8,67	75,169
20	8,68	75,342
21	8,67	75,169
22	8,68	75,342
23	8,67	75,169
24	8,67	75,169
25	8,68	75,342
26	8,67	75,169
27	8,69	75,516
28	8,68	75,342
29	8,67	75,169
30	8,68	75,342
Mean	8,68	75,273
Σ	260,28	2258,191
(S) ²	67745,68	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

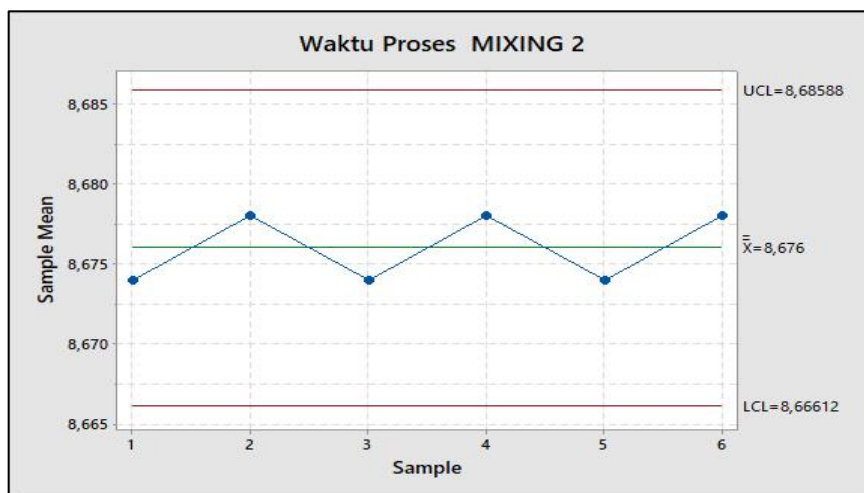
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,670	8,680	8,670	8,670	8,680	8,674
2	8,670	8,690	8,680	8,670	8,680	8,678
3	8,670	8,680	8,670	8,670	8,680	8,674
4	8,670	8,690	8,680	8,670	8,680	8,678
5	8,670	8,680	8,670	8,670	8,680	8,674
6	8,670	8,690	8,680	8,670	8,680	8,678
Total						52,056

Nilai Rata-Rata Sub Group = 8,676
 Standar Deviasi Populasi = 0,007
 Standar Deviasi Sub Group = 0,003
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,684$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,668$

· Menguji kecukupan data

$$N' = \frac{\frac{K}{S} \sqrt{N \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}}{\sum Xi}$$

N' = 0,002



Gambar 4.20 Diagram Kontrol Waktu Proses Mixing 2

Tabel 4.13 Waktu Proses Hasil Simulasi Cetak

Simulasi Waktu Proses		
Departemen :	Proses	
Stasiun Kerja :	Cetak	
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,93	79,745
2	8,84	78,146
3	8,94	79,924
4	8,93	79,745
5	8,95	80,103
6	8,93	79,745
7	8,93	79,745
8	8,93	79,745
9	8,93	79,745
10	8,94	79,924
11	8,93	79,745
12	8,84	78,146
13	8,94	79,924
14	8,93	79,745
15	8,95	80,103
16	8,93	79,745
17	8,93	79,745
18	8,94	79,924
19	8,93	79,745
20	8,93	79,745
21	8,93	79,745
22	8,84	78,146
23	8,94	79,924
24	8,93	79,745
25	8,95	80,103
26	8,93	79,745
27	8,93	79,745
28	8,93	79,745
29	8,93	79,745
30	8,94	79,924
Mean	8,93	79,656
Σ	267,75	2389,694
(S)²	71690,06	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

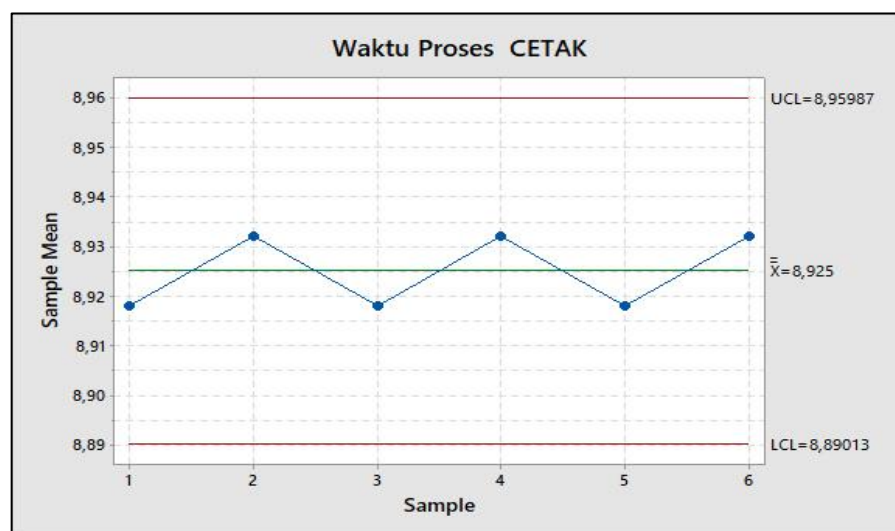
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,930	8,840	8,940	8,930	8,950	8,918
2	8,930	8,930	8,930	8,930	8,940	8,932
3	8,930	8,840	8,940	8,930	8,950	8,918
4	8,930	8,930	8,940	8,930	8,930	8,932
5	8,930	8,840	8,940	8,930	8,950	8,918
6	8,930	8,930	8,930	8,930	8,940	8,932
Total						53,550

Nilai Rata-Rata Sub Group = 8,925
 Standar Deviasi Populasi = 0,029
 Standar Deviasi Sub Group = 0,012
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,961$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,889$

· Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{K}{S} \sqrt{N \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \right]^2$$

N' = 0,038



Gambar 4.21 Diagram Kontrol Waktu Proses Cetak

Tabel 4.14 Waktu Proses Hasil Simulasi Oven Pellet

Simulasi Waktu Proses		
Departemen :	Proses	
Stasiun Kerja :	Oven Pellet	
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,93	79,745
2	8,90	79,210
3	8,93	79,745
4	8,93	79,745
5	8,93	79,745
6	8,94	79,924
7	8,93	79,745
8	8,93	79,745
9	8,90	79,210
10	8,93	79,745
11	8,92	79,566
12	8,93	79,745
13	8,94	79,924
14	8,93	79,745
15	8,93	79,745
16	8,93	79,745
17	8,90	79,210
18	8,94	79,924
19	8,93	79,745
20	8,93	79,745
21	8,94	79,924
22	8,94	79,924
23	8,93	79,745
24	8,93	79,745
25	8,90	79,210
26	8,94	79,924
27	8,93	79,745
28	8,90	79,210
29	8,93	79,745
30	8,93	79,745
Mean	8,93	79,686
Σ	267,80	2390,566
(S)²	71716,84	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

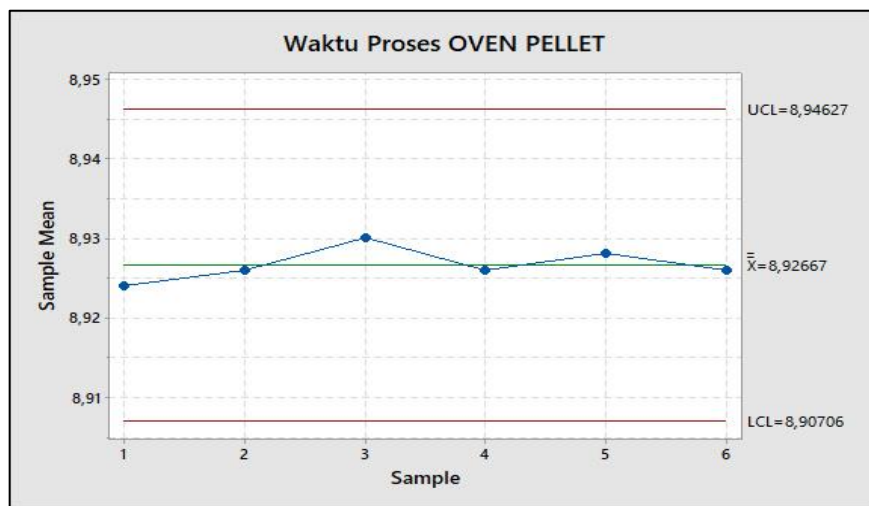
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,930	8,900	8,930	8,930	8,930	8,924
2	8,940	8,930	8,930	8,900	8,930	8,926
3	8,920	8,930	8,940	8,930	8,930	8,930
4	8,930	8,900	8,940	8,930	8,930	8,926
5	8,940	8,940	8,930	8,930	8,900	8,928
6	8,940	8,930	8,900	8,930	8,930	8,926
Total						53,560

Nilai Rata-Rata Sub Group = 8,927
 Standar Deviasi Populasi = 0,013
 Standar Deviasi Sub Group = 0,005
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,943$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,911$

• Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{K}{s} \sqrt{N \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2} \right]^2$$

N' = 0,007



Gambar 4.22 Diagram Kontrol Waktu Proses Oven Pellet

Tabel 4.15 Waktu Proses Hasil Simulasi Oven Sponge

Simulasi Waktu Proses		
Departemen : Proses		
Stasiun Kerja : Oven Sponge		
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,61	74,132
2	8,62	74,304
3	8,60	73,960
4	8,61	74,132
5	8,62	74,304
6	8,61	74,132
7	8,61	74,132
8	8,60	73,960
9	8,62	74,304
10	8,61	74,132
11	8,60	73,960
12	8,62	74,304
13	8,61	74,132
14	8,62	74,304
15	8,60	73,960
16	8,61	74,132
17	8,62	74,304
18	8,61	74,132
19	8,61	74,132
20	8,60	73,960
21	8,60	73,960
22	8,61	74,132
23	8,62	74,304
24	8,61	74,132
25	8,62	74,304
26	8,61	74,132
27	8,61	74,132
28	8,61	74,132
29	8,60	73,960
30	8,62	74,304
Mean	8,61	74,144
Σ	258,32	2224,309
(S)²	66729,22	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = 6$$

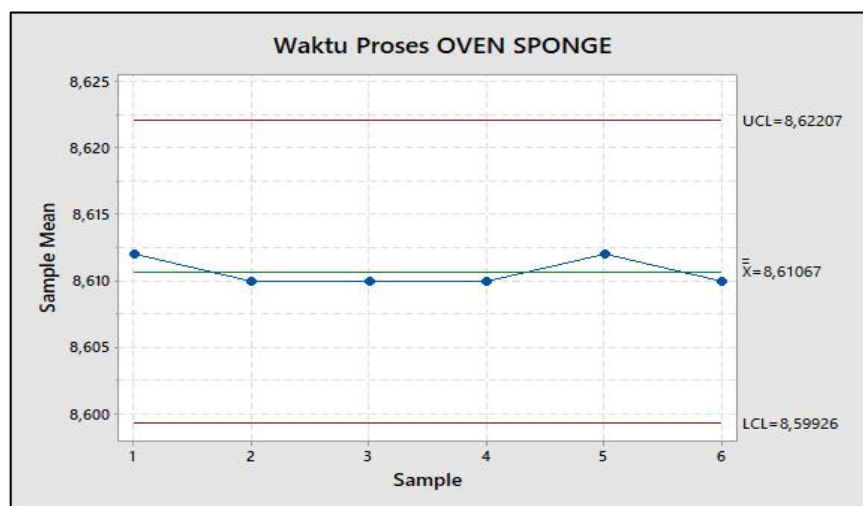
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,610	8,620	8,600	8,610	8,620	8,612
2	8,610	8,610	8,600	8,620	8,610	8,610
3	8,600	8,620	8,610	8,620	8,600	8,610
4	8,610	8,620	8,610	8,610	8,600	8,610
5	8,600	8,610	8,620	8,610	8,620	8,612
6	8,610	8,610	8,610	8,600	8,620	8,610
Total						51,664

Nilai Rata-Rata Sub Group = 8,611
 Standar Deviasi Populasi = 0,007
 Standar Deviasi Sub Group = 0,003
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $\bar{x} + 3\sigma_x = 8,619$
 BKB = $\bar{x} - 3\sigma_x = 8,602$

Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{K}{s} \sqrt{\frac{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{\sum X_i}} \right]^2$$

N' = 0,003



Gambar 4.23 Diagram Kontrol Waktu Proses Oven Sponge

Tabel 4.16 Waktu Proses Hasil Simulasi Packaging

Simulasi Waktu Proses		
Departemen :	Finishing	
Stasiun Kerja :	Packaging	
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	8,95	80,103
2	8,96	80,282
3	8,96	80,282
4	8,95	80,103
5	8,96	80,282
6	8,97	80,461
7	8,96	80,282
8	8,95	80,103
9	8,95	80,103
10	8,96	80,282
11	8,97	80,461
12	8,96	80,282
13	8,95	80,103
14	8,95	80,103
15	8,96	80,282
16	8,95	80,103
17	8,96	80,282
18	8,97	80,461
19	8,96	80,282
20	8,95	80,103
21	8,95	80,103
22	8,96	80,282
23	8,96	80,282
24	8,95	80,103
25	8,96	80,282
26	8,97	80,461
27	8,96	80,282
28	8,97	80,461
29	8,94	79,924
30	8,95	80,103
Mean	8,96	80,234
Σ	268,72	2407,016
(S) ²	72210,44	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

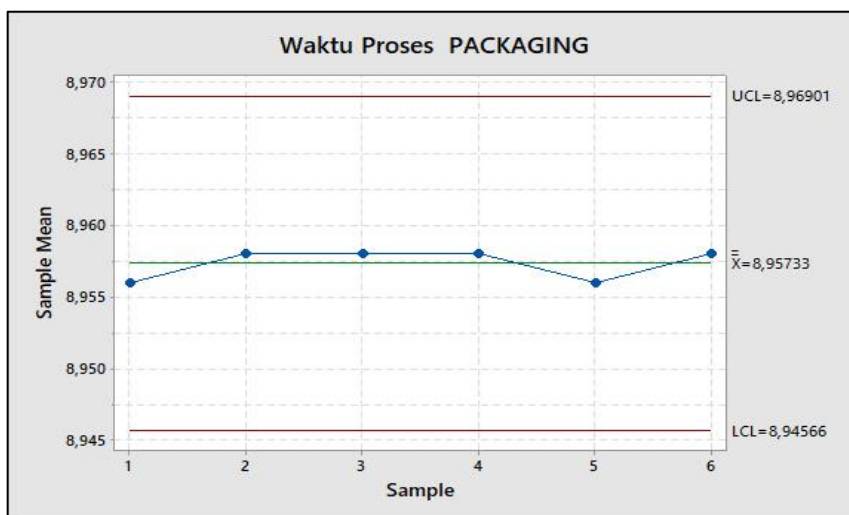
k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	8,950	8,960	8,960	8,950	8,960	8,956
2	8,970	8,960	8,950	8,950	8,960	8,958
3	8,970	8,960	8,950	8,950	8,960	8,958
4	8,950	8,960	8,970	8,960	8,950	8,958
5	8,950	8,960	8,960	8,950	8,960	8,956
6	8,970	8,960	8,970	8,940	8,950	8,958
Total						53,744

Nilai Rata-Rata Sub Group = 8,957
 Standar Deviasi Populasi = 0,008
 Standar Deviasi Sub Group = 0,003
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $x + 3\sigma_x = 8,967$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 8,948$

• Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{K}{S} \sqrt{\frac{N \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2}{\sum Xi}} \right]^2$$

N' = 0,003



Gambar 4.24 Diagram Kontrol Waktu Proses Packaging

Tabel 4.17 Waktu Proses Hasil Simulasi Warehouse

Simulasi Waktu Proses		
Departemen : <i>Finishing</i>		
Stasiun Kerja : <i>Warehouse</i>		
Sub Stasiun Kerja :		
Jumlah Operator :		
Jumlah Mesin :		
Simulasi Ke	Waktu (Jam)	
	X	X ²
1	9,50	90,250
2	9,51	90,440
3	9,49	90,060
4	9,50	90,250
5	9,52	90,630
6	9,50	90,250
7	9,50	90,250
8	9,51	90,440
9	9,51	90,440
10	9,50	90,250
11	9,50	90,250
12	9,51	90,440
13	9,49	90,060
14	9,50	90,250
15	9,52	90,630
16	9,50	90,250
17	9,50	90,250
18	9,51	90,440
19	9,51	90,440
20	9,50	90,250
21	9,51	90,440
22	9,49	90,060
23	9,50	90,250
24	9,52	90,630
25	9,50	90,250
26	9,50	90,250
27	9,51	90,440
28	9,51	90,440
29	9,50	90,250
30	9,51	90,440
Mean	9,50	90,332
Σ	285,13	2709,973
(S)²	81299,12	

1. Membagi data ke dalam beberapa subgroup

$$k = 1 + 3.3 \log N = 1 + 3.3 \log 30 = 5,87 = -6$$

k	1	2	3	4	5	Rata-rata Sub Group
1	9,500	9,510	9,490	9,500	9,520	9,504
2	9,500	9,500	9,510	9,510	9,500	9,504
3	9,500	9,510	9,490	9,500	9,520	9,504
4	9,500	9,500	9,510	9,510	9,500	9,504
5	9,510	9,490	9,500	9,520	9,500	9,504
6	9,500	9,510	9,510	9,500	9,510	9,506
Total						57,026

Nilai Rata-Rata Sub Group = 9,504
 Standar Deviasi Populasi = 0,008
 Standar Deviasi Sub Group = 0,003
 Tingkat Ketakinan K = 3
 BKA = $x + 3\sigma_x = 9,514$
 BKB = $x - 3\sigma_x = 9,495$

• Menguji kecukupan data

$$N' = \left[\frac{K}{S} \sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \right]^2$$

N' = 0,003



Gambar 4.25 Diagram Kontrol Waktu Proses Warehouse

Kemudian dihitung nilai produktivitas masing-masing mesin. Nilai produktivitas dihitung dengan membandingkan waktu perencanaan dengan waktu aktual. Waktu aktual berupa waktu proses hasil simulasi model yang dibuat. Sedangkan waktu perencanaan yang dirancang dari model tata letak pabrik untuk masing-masing mesin yaitu 8 jam kerja. Adapun hasil perhitungan nilai produktivitas masing-masing mesin dapat dilihat pada Tabel 4.18 dibawah.

Tabel 4.18 Nilai Produktivitas Pabrik Besi Pellet/*Sponge* kapasitas 200 ton per hari berdasarkan Hasil Simulasi

No.	Departemen	Kapasitas Terpasang (ton)	Waktu Perencanaan (jam)	Aktual/Hasil Simulasi (jam)	Prod. (%)
1	Preparasi				
	Stockpile	200	8	8,27	96,74
	Mesin Screen 3	200	8	8,17	97,92
	Mesin Separator	200	8	8,58	93,24
	Mesin Screen 2	200	8	8,82	90,70
	Mesin Screen 1	200	8	8,69	92,06
2	Proses				
	Mesin Mixing 1	200	8	8,59	93,13
	Mesin Mixing 2	200	8	8,68	92,17
	Mesin Cetak	200	8	8,93	89,59
	Oven Besi Pellet	200	8	8,92	89,69
	Oven Besi <i>Sponge</i>	200	8	8,61	92,92
3	Finishing				
	Mesin Packanging	200	8	8,96	89,29
	Warehouse/Storage	200	8	9,50	84,21

4.1.2 Verifikasi dan Validasi

Tahap yang sangat penting dalam pembuatan model adalah tahap verifikasi dan validasi, tahap ini merupakan suatu proses pengujian model yang dibuat, gunanya menguji keandalan suatu model.

1. Verifikasi

Verifikasi model adalah suatu proses yang membandingkan suatu model dengan keadaan sesungguhnya. Untuk penelitian ini yaitu membandingkan parameter model simulasi yang dibuat berupa model tata letak pabrik dengan menggunakan konsep model industri 4.0 (i4.0) untuk

pengelolaan pasir besi menjadi besi *sponge* dibandingkan dengan tata letak keadaan sebenarnya. Untuk verifikasi model simulasi ini adalah sebagai berikut.

a. Sistem Transpor

Untuk sistem transpor menggunakan sistem conveyor belt, sistem perpipaan yang dapat disetup sesuai dengan kebutuhan berupa kecepatan, daya angkut, tinggi. Bila dibandingkan dengan keadaan sebenarnya ada kemiripan.

b. Mesin dan Peralatan

Untuk peralatan dan mesin yang digunakan dalam model simulasi ada kemiripan dengan keadaan sebenarnya, karena mesin dan peralatannya dapat disetup berdasarkan kapasitas yang akan digunakan.

c. Proses Produksi

Proses produksi dalam model simulasi yang dibuat hampir sama dengan keadaan sesungguhnya yaitu merubah bentuk bahan baku menjadi bahan dilintasi produksi.

d. Sistem Produksi

Sistem produksi dalam model simulasi dapat direncanakan sesuai dengan kapasitas yang diinginkan ini sesuai dengan kenyataan sebenarnya dilingkungan industri manufaktur.

e. Waktu proses

Dalam model simulasi untuk waktu proses dapat disetup sesuai keinginan kecepatan dan kapasitas produksi yang diinginkan ini hampir sama dalam waktu proses yang ada di industri manufakturing.

Dengan melihat sifat dan karakteristik model simulasi yang dihasilkan maka dapat dikatakan bahwa *tools* yang dipakai untuk membuat model simulasi yaitu *Software FlexSim 18.2.2* tahun 2018, kompetabel digunakan untuk membuat model simulasi tata letak pabrik model industri 4.0 (i4.0).

2. Validasi

Validasi model simulasi yang berupa model simulasi tata letak pabrik model industri 4.0 (i4.0), berdasarkan hasil verifikasi, model tersebut sangat valid karena model simulasi ini, ada kemiripan dengan keadaan real dilapangan. Hal ini dikarena software yang dipakai untuk membuat model simulasi berupa *Software FlexSim* 18.2.2 keluaran tahun 2018 oleh vendor, dan selalu *Update*, bahkan yang terbaru sudah keluar *Software FlexSim* 19.0.0 tahun 2019, selain itu karena icon-icon dan perintah yang ada didalamnya dapat diperuntukan untuk mensimulasikan model industri 4.0 (i4.0), meskipun software yang digunakan untuk membuat model simulasi dalam penelitian tesis ini adalah versi student yang icon dan perintahnya dibatasi hanya 30 icon, tetapi model simulasi yang dihasil akan tetap optimal sesuai yang diinginkan.

4.1.3 Perencanaan dan Perancangan Model Simulasi Perbaikan

Pembahasan dalam penelitian ini terdiri dari perbaikan perencanaan dan perancangan tata letak pabrik model industri 4.0 (i4.0) hasil analisis data serta pembahasan hasil perencanaan dan perancangan tata letak pabrik model industri 4.0 (i4.0).

1. Perhitungan Kapasitas Cadangan Pasir Besi

Perencanaan perhitungan kapasitas cadangan untuk pasir besi, sebaiknya dihitung berdasarkan hasil eksplorasi (survey, pemetaan), eksplorasi pasir besi meliputi pra kegiatan lapangan, kegiatan lapangan, serta pasca kegiatan lapangan dilakukan untuk mengetahui potensi cadangan pasir besi. Adapun penjelasan kegiatan-kegiatan tersebut adalah sebedagai berikut:

a. Pra Kegiatan Lapangan

Kegiatan ini tujuannya memberikan gambaran mengenai potensi serta prospek endapan pasir besi dan situasi geolog disekitar daerah

eksplorasi, kegiatan ini meliputi studi literatur, penginderaan jarak jauh, dan geofisika.

b. Kegiatan Lapangan

Kegiatan lapangan meliputi pemetaan geologi, pengukuran topografi, pemboran, pembuatan sumur uji, preparasi conto, serta survey geofisika.

c. Pasca Kegiatan Lapangan

Kegiatan pasca lapangan yang harus dilakukan yaitu: analisis laboratorium dan pengolahan data.

2. Pengambilan Conto Pasir Besi

Proses pengambilan conto pasir besi di lapangan dapat dilaksanakan sesuai dengan situasi di lapangan yaitu disesuaikan dengan kedalaman endapan pasir. Karena dengan penyesuaian keadaan lapangan hal ini dapat berpengaruh terhadap peralatan yang akan dibawa dalam proses pengambilan conto. Ini dapat berpengaruh terhadap biaya proses eksplorasi sehingga eksplorasi yang dilakukan akan optimal.

3. Proses Pembuatan Besi Pellet/Besi *Sponge*

Proses pembuatan Besi Pellet/Besi *Sponge* pada dasarnya sangat mudah tidak memerlukan suatu teknologi modern, tetapi yang paling penting, seberapa besar rencana kapasitas produksi yang akan dirancang, karena berpengaruh terhadap besaran tingkat investasi.

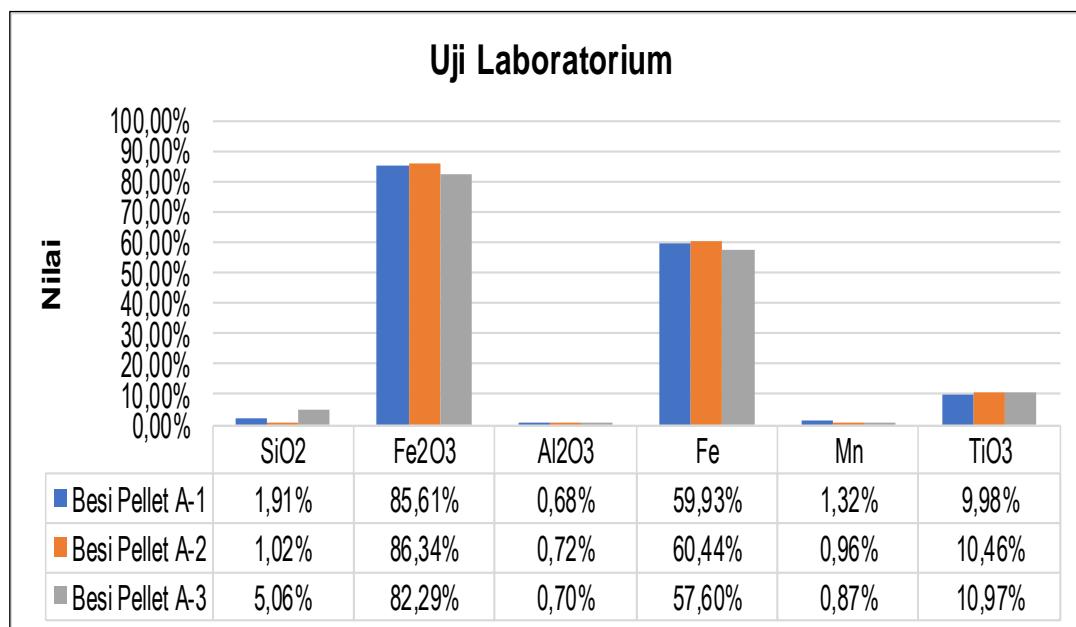
Besaran tingkat investasi ini berhubungan dengan besaran modal/uang yang akan diinvestasikan. Modal ini diperuntukan untuk investasi mesin, peralatan, serta infrastruktur yang akan dibangun. Dalam model Industri 4.0 untuk pabrik besi pellet/besi *sponge* mesin, peralatan dan infrastruktur yang akan dirancang harus direncanakan dengan matang, karena infrastruktur yang dibangun harus memenuhi persyaratan dari Industri 4.0. Sebaiknya mesin, peralatan, serta infrastruktur yang akan dibangun mengikuti persyaratan minimum dari Industri 4.0. Ini akan

mengoptimalkan biaya investasi yang akan ditanamkan, baik investasi sumber daya manusia, serta sumber daya buatan yang mendukung operasional pabrik.

4. Hasil Uji Laboratorium Besi Pellet/Besi *Sponge*

Didasari hasil uji laboratorium berupa analisis kimia dilakukan di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. Terdiri dari 3 (tiga) sampel Besi Pellet/Besi *Sponge*, dan 2 (dua) conto pasir besi.

Hasil uji laboratorium terdapat beberapa perbedaan hasil antar sampel dari Besi Pellet/Besi *Sponge* yaitu sampel A-1 (conto pasir besi + binder); sampel A-2 (conto pasir besi + pasir silika + binder); serta sampel A-3 (contoh pasir besi + karbon aktif + binder), binder yang digunakan untuk masing-masing sampel sama yaitu tapioka dengan kadar yang sama. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.26 berikut.



Gambar 4.26 Grafik Nilai Uji Laboratorium

Melihat grafik dan nilai uji laboratorium dengan perlakuan yang berbeda antara sampel A-1, A-2, serta A-3, maka terdapat nilai uji laboratorium yang berbeda, dengan pembandingan sampel A-1 (contoh pasir besi +binder). Tetapi melihat nilai uji laboratorium terdapat fenomena dari nilai SiO_2 , Fe_2O_3 , serta Fe dari A-1 dan A-2 yang dapat dilihat pada Tabel 4.19 dibawah.

Tabel 4.19 Perbandingan hasil uji laboratorium sampel A-1 dan A-2

Sampel	SiO_2	Fe_2O_3	Fe
A-1	1,91%	85,61%	59,93%
A-2	1,02%	86,34%	60,44%

Berdasarkan perlakuan dari kedua ada perbedaan yang fenomena nilai SiO_2 , Fe_2O_3 , dan Fe antara A-1 dan A-2, karena untuk perlakuan sampel A-2 dengan menambahkan pasir silika kedalam contoh pasir besi, maka nilai SiO_2 A-2 lebih kecil dari nilai SiO_2 A-1 yang tidak dicampur silika, yaitu: $1,02\% < 1,91\%$. Tetapi disisi lain dengan penambahan pasir silika maka nilai Fe_2O_3 serta Fe akan bertambah, ini merupakan fenomena yang harus diteliti lebih lanjut. Begitupun pada perbandingan antara A-1 dan A-3, dengan menambahkan karbon aktif pada A-3, maka nilai SiO_2 pada sampel A-3 lebih besar bila dibanding A-1, tetapi nilai Fe_2O_3 dan Fe lebih kecil dari A-1 (lihat Tabel 4.1).

5. Perencanaan dan Desain Tata Letak Pabrik Besi *Sponge Model Industri 4.0 (i4.0)*

Untuk perencanaan dan perancangan Tata Letak Pabrik model Industri 4.0 (i4.0), dengan menghubungkan dan mengintegrasikan persyaratan/*requirement* masing-masing konsep, yaitu konsep teknologi tata letak, konsep *lean manufacturing*, serta konsep *smart factory*. Maka tidak semua *requirement* yang ditentukan oleh Industri 4.0 semuanya diimplementasikan. Tetapi persyaratan/*requirement* tersebut akan dipilah

sesuai dengan kebutuhan minimum dari pembangunan pabrik model Industri 4.0 (14.0). Terutama untuk requirement dan prinsip dari *smart factory* model Industri 4.0.

Pemilahan *requirement* Industri 4.0 dalam perencana dan perancangan tata letak pabrik besi pellet/besi *sponge* bertujuan untuk mengoptimalkan nilai investasi yang akan ditanamkan, serta mengoptimalkan tata letak yang dihasilkan. Terutama untuk persyaratan *smart factory* terdapat 26 (dua puluh enam) persyaratan/*requirement* model Industri 4.0. Proses pemilahan persyaratan model industri 4.0 disesuaikan dengan tahapan desain layout, utilitas, peralatan, mesin dan sumberdaya lainnya yang dipakai pada proses operasi pembuatan besi pellet/besi *sponge*.

Untuk persyaratan yang lainnya yaitu teknologi tata letak, serta lean manufacturing tidak akan dipilah, karena item persyaratan untuk kedua konsep tersebut semua item sangat penting dalam dalam perencanaan dan perancangan tata letak pabrik ini.

Pemilahan yang dilakukan untuk memilah persyaratan smart factory untuk perencanaan dan perancangan tata letak pabrik besi pellet/besi *sponge* dapat dilihat pada Tabel 4.20 dibawah.

Tabel 4.20 Hasi pemilahan Persyaratan Smart Factory untuk Perencanaan dan Perancangan Tata Letak Pabrik Besi Pellet/ Besi *Sponge*

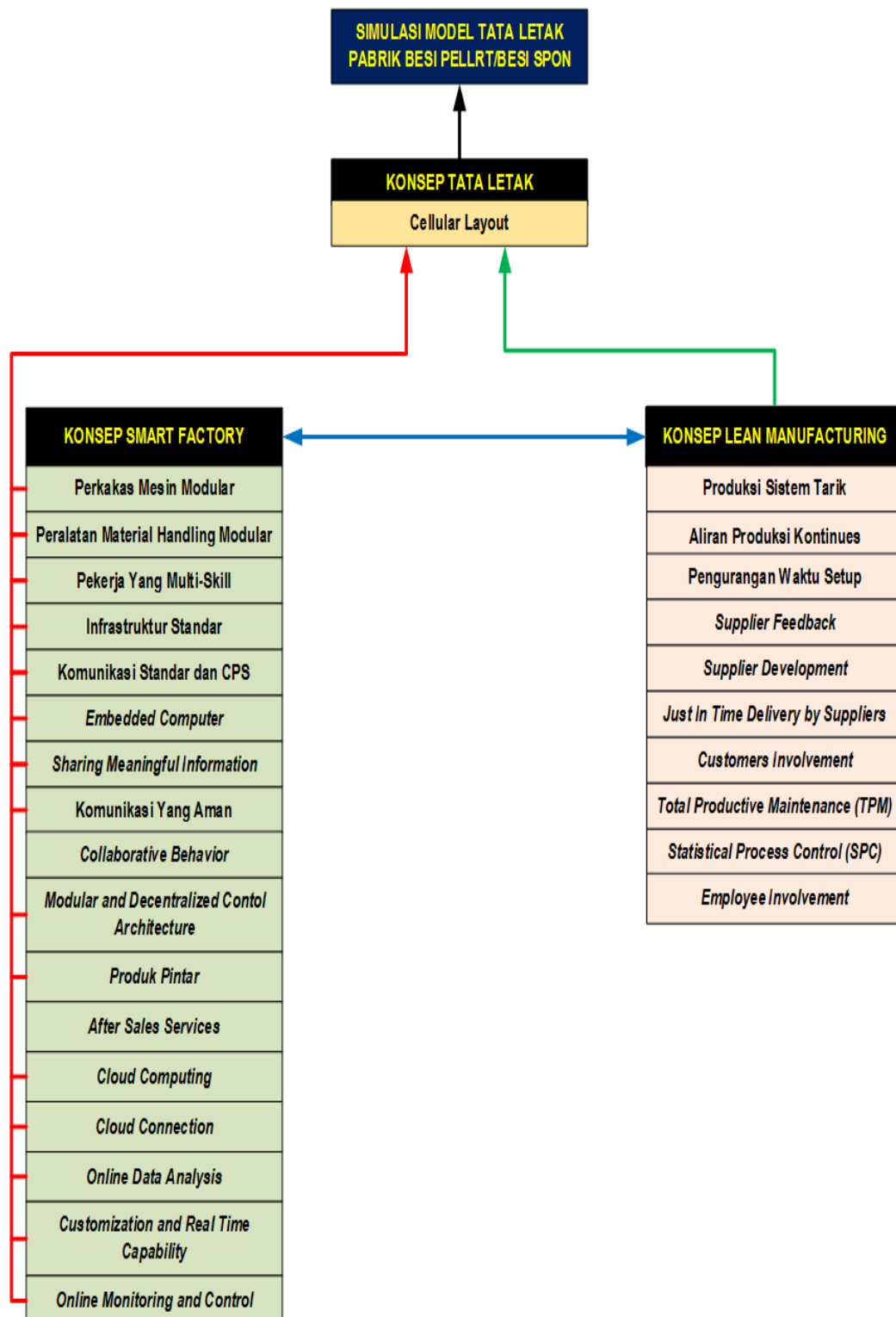
No.	Kode	Persyaratan	Prinsip
1	R-1	Perkakas Mesin Modular/Stasiun Kerja Modular	P-1, P-6
2	R-2	Peralatan Material Handling Modular	P-1, P-3
3	R-3	Area Kerja yang Multi Skill	P-1
4	R-6	Infrastruktur Standar	P-1, P-6
5	R-7	Komunikasi Standar dan Cyber-Physical System (CPS)	P-2
6	R-8	<i>Embedded computer</i>	P-2, P-3
7	R-9	<i>Sharing meaningful information</i>	P-2
8	R-10	Komunikasi Aman	P-2

Tabel 4.20 Hasil pemilahan Persyaratan Smart Factory untuk Perencanaan dan Perancangan Tata Letak Pabrik Besi Pellet/ Besi Sponge (Lanjutan)

No.	Kode	Persyaratan	Prinsip
9	R-11	<i>Collaborative behavior</i>	P-2
10	R-12	Modular and decentralized control architecture	P-3
11	R-13	Produk Pintar	P-3
12	R-19	<i>After-sale services</i>	P-5
13	R-21	<i>Cloud computing</i>	P-5
14	R-22	<i>Cloud connection</i>	P-6
15	R-23	<i>Online data analysis</i>	P-6
16	R-24	<i>Customization and real-time capability</i>	P-6
17	R-25	<i>Online monitoring and control</i>	P-6

Keterangan:
P-1 = Modularity.
P-2 = Interoperability.
P-3 = Decentralization.
P-4 = Virtualization.
P-5 = Service orientation.
P-6 = Real-time capability (responsiveness).

Dengan persyaratan Industri 4.0 hasil pemilahan tersebut maka konsep-konsep tersebut dapat dihubungkan dan diintegrasikan satu sama lain. Hubungan dan integrasi ketiga konsep tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.27 berikut.



Gambar 4.27 Hubungan dan Integrasi Antar Konsep

Setelah hubungan dan integrasi dilakukan maka untuk mengoptimalkan tata letak berdasar operasi proses besi pellet/besi *sponge*, dilakukan *layout* dengan menggunakan Algoritma *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT), dengan bantuan *Software CRAFT* integrasi dengan *Microsoft Excel 2019* yang inputnya berupa ongkos material handling (OMH), dan jarak antar mesin dan departemen, serta frekuensi perpindahan antar mesin.

Adapun ongkos material handling (OMH) dan jarak antar mesin atau departemen dalam perencanaan dan perancangan tata letak pabrik besi pellet/besi *sponge* dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 4.21 Ongkos Antar Mesin/Departemen (meter)

Cost Matrix

TO

FROM	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	D 12	D 13	D 14
D 1		40000												
D 2	40000		40000											
D 3		40000		40000										
D 4			40000		40000									
D 5				40000		40000								
D 6					40000		40000	40000						
D 7						40000			40000	10000				
D 8						40000								
D 9							40000							
D 10							10000				10000			
D 11										10000		10000		
D 12											10000		10000	
D 13												10000		10000
D 14													10000	

Tabel 4.22 Frekuensi Perpindahan Proses Antar Mesin/Departemen

Flow Matrix

TO

FROM	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	D 12	D 13	D 14
D 1		2												
D 2	2		2											
D 3		2		2										
D 4			2		2									
D 5				2		2								
D 6					2		2	2						
D 7						2			2	8				
D 8						2								
D 9							2							
D 10							8				8			
D 11									8			8		
D 12										8			8	
D 13											8			8
D 14												8		

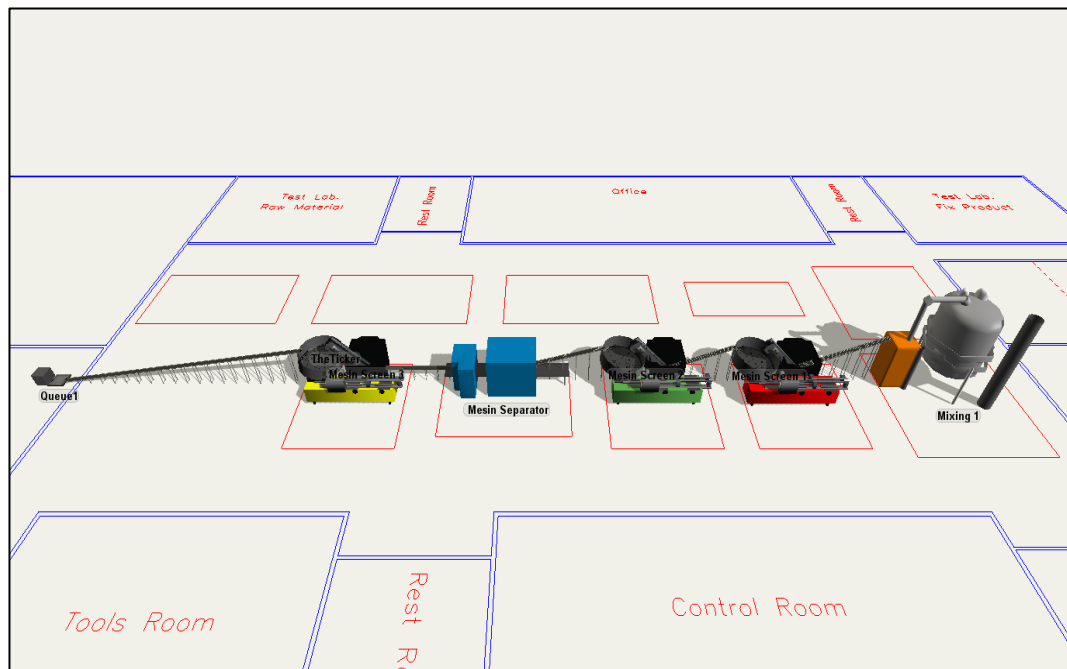
Tabel 4.23 Luas dan Titik Koordinat Mesin/Departemen

Department	Color	Area-required	Area-defined	x-centroid	y-centroid	Sequence
Stockpile	1	450	450	2,5	45	1
Screen 3	2	48	48	2,4375	94,8125	2
Separator	3	45	45	7,277778	95,85555	3
Screen 2	4	48	48	7,520833	86,60416	4
Screen 1	5	48	48	7,5	77	5
Mixing 1	6	47	47	12,39362	76,90426	6
Mixing 2	7	47	47	7,5	67,5	7
Binder	8	60	60	12,5	87,6	8
Water	9	60	60	12,23333	66,33334	9
Cetak	10	45	45	9,722222	59,27778	10
Oven Pellet	11	48	48	10,16667	54,58333	11
Oven Spon	12	48	48	10,08333	49,79167	12
Packaging	13	24	24	9,5	46,25	13
Warehouse	14	450	450	10	22,5	14

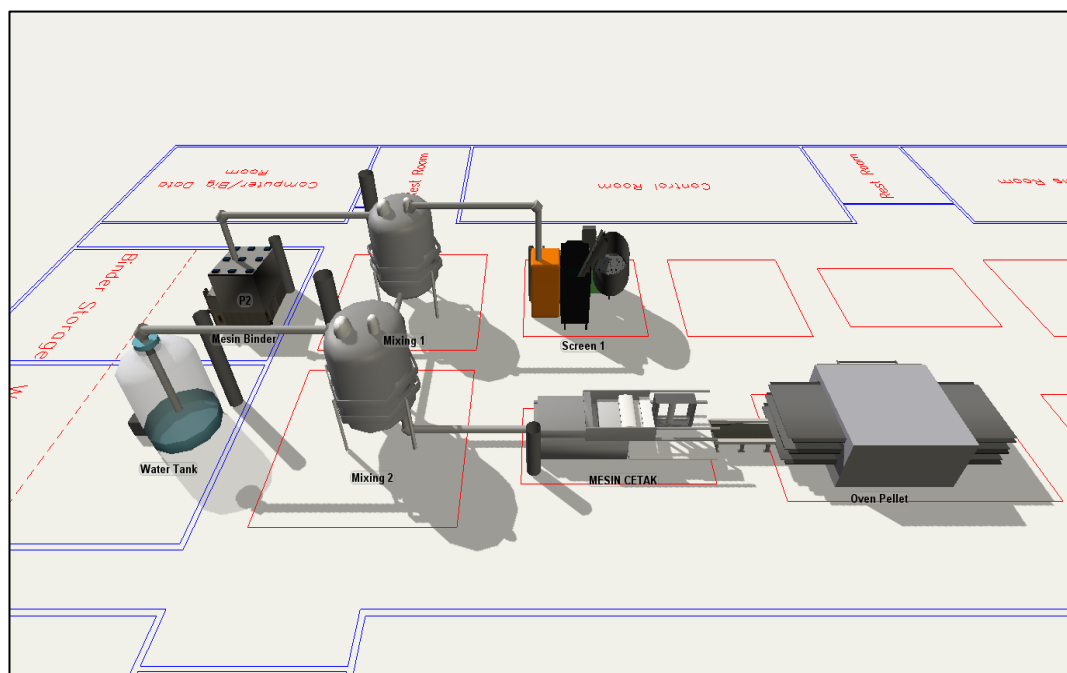
Hasil dari perbaikan Tata Letak dengan menggunakan algoritma *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT). Menghasilkan optimal ongkos material handling (OMH) sebesar Rp. 25.552.074,- per hari

6. Model Simulasi Perbaikan Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi Sponge Industri 4.0 (i4.0)

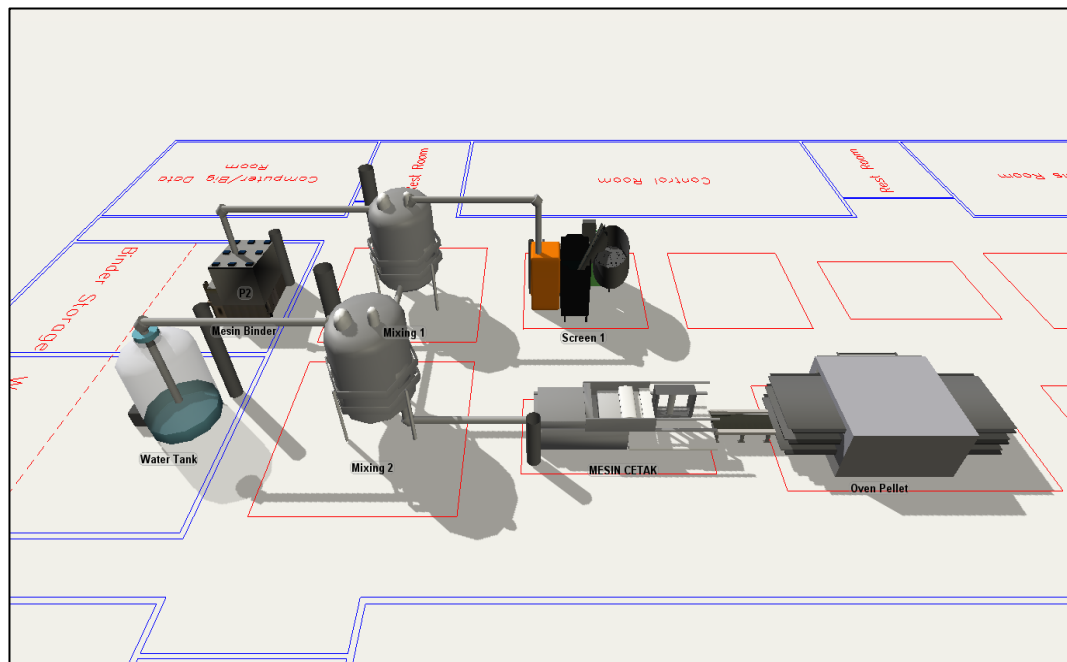
Simulasi pada Tata Letak Pabrik Besi *Sponge* model Industri 4.0 (i4.0) hasil perbaikan inputnya sama, seperti tata letak sebelumnya yaitu didasarkan pada layout hasil perbaikan. Adapun model simulasi dan hasilnya dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut.



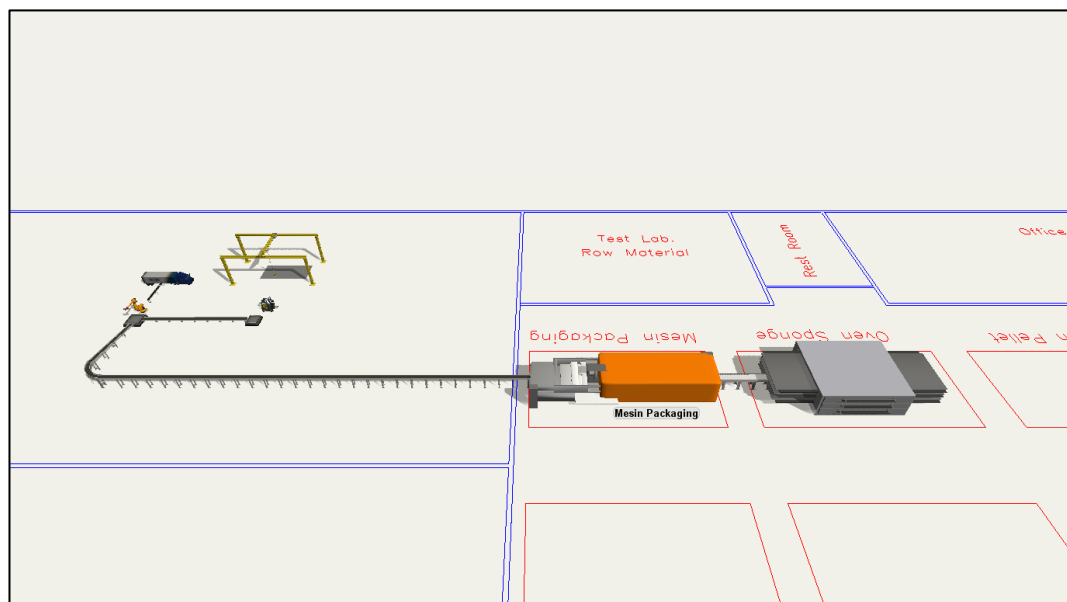
Gambar 4.29 Model Simulasi Hasil Perbaikan Departemen Preparasi Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi *Sponge* Industri 4.0.



Gambar 4.30 Model Simulasi Hasil Perbaikan Departemen Proses Part-1 Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi *Sponge* Industri 4.0.



Gambar 4.31 Model Simulasi Hasil Perbaikan Departemen Proses Part-2
Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi *Sponge* Industri 4.0.



Gambar 4.32 Model Simulasi Hasil Perbaikan Departemen Finishing
Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi *Sponge* Industri 4.0.

Setelah melakukan simulasi, maka didapat waktu proses untuk masing-masing departemen. Selanjutnya menghitung nilai produktivitas masing-masing mesin. Nilai produktivitas merupakan hasil perbandingan antara waktu perencanaan dengan waktu aktual. Waktu aktual berupa waktu proses hasil simulasi model yang dibuat. Sedangkan waktu perencanaan yang dirancang dari model tata letak pabrik untuk masing-masing mesin yaitu 8 jam kerja. Adapun hasil perhitungan nilai produktivitas masing-masing mesin dapat dilihat pada Tabel 4.24 dibawah.

Tabel 4.24 Nilai Produktivitas Pabrik Besi Pellet/*Sponge* kapasitas 200 ton per hari berdasarkan Model Simulasi Hasil Perbaikan

No.	Departemen	Kapasitas Terpasang (ton)	Waktu Perencanaan (jam)	Aktual/Hasil Simulasi (jam)	Prod. (%)
1	Preparasi				
	Stockpile	200	8	8,03	99,62
	Mesin Screen 3	200	8	8,03	99,62
	Mesin Separator	200	8	8,03	99,62
	Mesin Screen 2	200	8	8,03	99,62
	Mesin Screen 1	200	8	8,03	99,62
Rata-Rata					99,62
2	Proses				
	Mesin Mixing 1	200	8	8,03	99,62
	Mesin Mixing 2	200	8	8,03	99,62
	Mesin Cetak	200	8	8,03	99,62
	Oven Besi Pellet	200	8	8,03	99,62
	Oven Besi <i>Sponge</i>	200	8	8,05	98,97
Rata-Rata					99,44
3	Finishing				
	Mesin Packanging	200	8	8,03	99,62
	Warehouse	200	8	8,03	99,62
Rata-Rata					99,62

4.2 Pembahasan

Berdasarkan data analisis dari hasil simulasi model yang dibuat, ada beberapa hal yang perlu dianalisis agar hasil penelitian ini tidak terkait dengan penjiplakan (plagiat) dan membahas mengimplementasinya dilapangan (*site*).

4.2.1 Analisis Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini berupa model simulasi dari tata letak pabrik. Model simulasi ini terdiri dari dua model yaitu model simulasi tata letak pabrik usulan, serta model simulasi tata letak perbaikan. Kemudian model simulasi masing-masing diuji dengan cara disimulasikan. Hasil simulasi model masing-masing berupa waktu proses aktual.

Waktu proses masing-masing model kemudian dibandingkan dengan waktu proses produksi harian yang direncanakan. Nilai perbandingan berupa nilai produktivitas untuk masing-masing model. Kemudian nilai produktivitas tersebut dibandingkan. Hasilnya nilai produktivitas menunjukan bahwa model simulasi perbaikan lebih produktif dibanding dengan model simulasi usulan. Hal ini disebabkan jarak perpindahan antar mesin/departemen model perbaikan lebih pendek dan lebih *lean* dibanding model simulasi tata letak pabrik usulan. Untuk lebih lengkapnya hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.25 berikut.

Tabel 4.25 Perbandingan Nilai Produktivitas dari Model Awal dengan Model Perbaikan

No.	Mesin/Departemen	Prod. Model Usulan (%)	Prod. Model Perbaikan (%)	Nilai Peningkatan (%)
1	Preparasi			
	Stockpile	96,74	99,62	2,88
	Mesin Screen 3	97,92	99,62	1,70
	Mesin Separator	93,24	99,62	6,38
	Mesin Screen 2	90,70	99,62	8,92
	Mesin Screen 1	92,06	99,62	7,56
	Rata-Rata	94,14	99,62	5,49
2	Proses			
	Mesin Mixing 1	93,13	99,62	6,49
	Mesin Mixing 2	92,17	99,62	7,45
	Mesin Cetak	89,59	99,62	10,03
	Oven Besi Pellet	89,69	99,62	9,93
	Oven Besi <i>Sponge</i>	92,92	98,97	6,05
	Rata-Rata	91,50	99,44	7,99
3	Finishing			
	Mesin Packaging	89,29	99,62	10,33
	Warehouse	84,21	99,62	15,41
	Rata-rata	86,75	99,13	12,87

Untuk terhindar dari penjiplakan (plagiat), penelitian ini merupakan penelitian yang pertama, mengenai eksperimen pembuatan besi pellet/besi *sponge* yang mengkolaborasikan dengan model industri 4.0 dengan mengimplementasikan konsep teknologi tata letak pabrik, *smart factory*, serta konsep *lean manufacturing*.

Ini dapat dilihat pada penelitian sebelumnya mengenai penelitian model simulasi, penelitian industri 4.0, penelitian tata letak pabrik, penelitian *lean manufacturing*, penelitian mengenai pasir besi. Untuk membedakan penelitian ini dari penelitian-penelitian sebelumnya, maka pembahasan penelitian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Yogo Pranoto, Sugeng Tirta Atmaja, dan Yusuf Umardani, 2015. Membahas mengenai pembuatan mengenai besi sponge dengan reduksi menggunakan asitelin, sampel yang digunakan pasir besi Asem Doyong Pemaalang, Jawa Tengah, metode eksperimen dengan digunakan adalah Reduksi Burner.
2. G.P. Singh, Sudeep R.P. dkk, 2015. Fokus penelitian pada pemodelan perpindahan panas dan massa, dengan teori perpindahan panas dan massa, metode yang dipakai adalah kuantitatif.
3. Deshpande, Vivek, Patil, D. Nitish, Baviskar, Vilas, Gandhi, Jaivesh, 2016. Penelitian fokus pada ongkos material handling untuk perancangan tata letak/*layout*, dengan menggunakan metode CRAFT dan ALDEP.
4. Sundar, R, A.N., Balaji, A. N., Satheesh Kumar, Satheesh R.M., 2014, Fokus penelitian optimisasi pengurangan pemborosan dengan menggunakan *Value Steam Mapping* (VSM).
5. Ali, M. Rehab, Deif, M. Ahmed. 2014. Penelitiannya fokus pada optimalisasi waktu proses. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem dinamis.
6. Mohamad, E, Ibrahim, M.A., Shibghatullah, A.S., Rahman, A.A, M., Sulaiman, M.A., Rahman, A.A.A., Abdullah, S and Salleh, M.R. 2016.

Penelitian ini fokus pada optimalisasi lean simulasi. Metode yang digunakan *lean tools simulation*.

7. Gyulai, David, zaller,Adam, Janos. Viharos, Zsolt. 2016. Penelitiannya fokus pada optimisasi fleksibel tata letak, dengan metode *Discrete-Event Simulation (DES)*.
8. Erik Flores Gracia, Erik, Ruiz Zuniga, Enrique, Bruch, Jessica. 2018. Fokus penelitian pada teori simulasi dan pemodelan, dengan metode *Simulation Based Optimization*.
9. ZHENG, Pai, WANG, Honghui, SANG, Zhiqian, Y. ZHONG,Y. RayLIU,Yongkui, Chao LIU, Khamdi MUBAROK, Shiqiang YU, Xun XU, 2018. Penelitian ini Fokus pada *cyber-physical production systems (CPPS)*. Metode dan teori yang digunakan CPS dan CPPS.
10. Roblek,Vasja, Meško Maja, and Krapež Alojz, 2016. Penelitian ini difokuskan pada industri 4.0 dan teknologi koneksi internet untuk meningkatkan nilai tambah bagi perhimpunan organisasi. Metode yang digunakan *Mix Method* dan *Internet of Things (IoT)*.
11. Schmidt, Rainer, Möhring, Michael, Christian Härting, Ralf, Reichstein, Christopher, Neumaier, Pascal, Jozinović, Philip. 2015. Penelitian ini menghasilkan beberapa temuan dari implementasi industri 4.0 dengan *big data*, dan *cloud computing* sebagai driver pada pengguna individu industri 4.0. Metode ini kuantitatif *Structural Equation Modelling (SEM)* dengan menggunakan kuesionar.
12. Bill Nordgren, 2017. Memodelkan, mensimulasikan serta menganalisis permasalahan manufacturing, perawatan kesehatan, dan logistik dengan menggunakan FlexSim 2018.

Melihat dari hasil pembahasan penelitian tersebut maka penelitian ini merupakan penelitian pertama yang mengintegrasikan teori dan metode penelitian sebelumnya dengan hasil eksperimen.

4.2.2 Analisis Penerapan Konsep Industri 4.0 (i4.0)

Penerapan konsep industri 4.0, yang diimplementasikan dalam Tata Letak Pabrik Besi Pellet/Besi *Sponge*, mempunyai nilai produktivitas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan konsep tata letak pabrik konvensional. Karena konsep industri 4.0 menerapkan sistem *autonomous, robotic, smart factory* diseluruh lini produksi, yang implemenasinya mengaplikasikan *cyber-physical systems (CPS), internet of things (IoT), cloud computing, big data analysis*, serta *cognitive computing*. Sehingga prosesnya lebih efisien dan efektif, karena mengurangi tingkat kesalahan yang dilakukan oleh manusia.

Tetapi dengan penerapan konsep industri 4.0, berdampak pada pengurangan peran manusia. Sehingga berdampak pada pengurangan tenaga kerja. Dampaknya terjadi peningkatan tingkat pengangguran tenaga kerja. Apabila konsep industri 4.0 diterapkan pada seluruh industri di Indonesia, dan Indonesia mempunyai tingkat demografi, maka akan timbul dampak sosial, yaitu meningkatnya tingkat pengangguran tenaga kerja Indonesia.

4.2.3 Analisis dan Pembahasan Industri 4.0 diterapkan di Industri Besi Pellet/Besi *Sponge*

Penerapan industri 4.0 diterapkan di industri besi pellet atau besi *sponge*, harus mempunyai konsep yang mengurangi tingkat pengangguran apabila konsep tersebut diterapkan di industri besi pellet/besi *sponge*. Untuk mengurangi pengangguran karena tenaga kerja manusia sebagian besar digantikan oleh mesin/robot, dan pada umumnya industri besi pellet dibangun mendekati sumber bahan baku, berupa pasir besi, serta umumnya pasir besi di Indonesia sumbernya selalu di daerah pesisir pantai, serta dekat dengan masyarakat. Sehingga apabila diterapkan konsep industri 4.0, akan berdampak kecemburan sosial akibat masyarakat sekitar tidak dipekerjakan di industri besi pellet/besi *sponge*.

Konsep untuk mengurangi dampak sosial apabila didirikan industri besi pellet/besi/sponge dilingkungan industri sekitarnya. Maka pihak perusahaan dari awal harus menerapkan konsep sistem kemitraan pengadaan bahan baku pembuatan besi pellet/besi *sponge* berupa pasir besi.

Konsep sistem kemitraan ini membangun sistem vendor yang dibina oleh industri pengguna, agar pasokan bahan baku untuk pembuatan besi pellet/besi *sponge* berupa pasir besi tetap terjaga baik kualitas maupun kuantitasnya, sehingga banyak vendor mitra yang mempekerja pekerja lokal. Sehingga dapat menekan dampak sosial, karena masyarakat sekitar dapat bekerja dan mempunyai penghasilan tetap.

Konsep kemitraan vendor ini harus melibatkan pihak perusahaan untuk membina dari segi manajemen, dan proses produksi, sehingga produk yang dihasilkan vendor kualitasnya terjamin. Mengakibat pasokan bahan baku lancar sehingga produksi besi pellet tidak terhambat.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pertanyaan dan tujuan penelitian, diperlukan suatu metodologi penelitian yang tepat agar hasil penelitian ini memberikan kontribusi keilmuan sesuai yang diinginkan, kemudian dilakukan analisis dan pembahasan. Selanjutnya hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan dan direkomendasikan. Untuk kesimpulan dan rekomendasi dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

5.1 Kesimpulan

Industri 4.0 merupakan gabungan teknologi otomatisasi dengan teknologi siber. Dalam implementasinya industri 4.0 intinya merupakan kolaborasi dari *cyber-physical systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), komputasi awan (*cloud computing*), serta komputasi kognitif (*cognitive computing*). Hal ini merupakan tantangan bagi industri pertahanan Indonesia untuk mengembangkan diri menuju industri 4.0.

Salah satu tantangan era industri 4.0 bagi pertahanan dan keamanan negara adalah perkembangan industri pertahanan, yang memasok alat utama sistem pertahanan (alpalhankam) Indonesia. Salah satunya kemandirian pasokan material plat baja yang digunakan sebagai material utama dalam pembuatan kapal perang, dan kendaraan militer (Tank dan Panser).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan untuk mewujudkan pengelolaan pasir besi sebagai bahan baku baja berupa besi pellet/besi *sponge* untuk alpalhankam sesuai dengan model industri 4.0, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk membuat konsep pengelolaan pasir besi model industri 4.0 tahapan yang paling utama yaitu pemilahan sejumlah persyaratan yang ditentukan model industri 4.0 yang berhubungan dengan permasalahan

pengelolaan pasir besi kemudian dibuat model integrasinya. Adapun persyaratan yang dipilih untuk konsep model industri 4.0 adalah:

a. Untuk teknologi tata letak dipilih konsep tata letak *Cellular*.

b. Sedang konsep *smart factory* yang dipakai meliputi:

- Perkakas mesin *modular*.
- Peralatan *material handling modular*.
- Pekerja yang multi-skill.
- Infrastruktur standar.
- Komunikasi Standar dan *Cyber-Physical Systems (CPS)*.
- *Embedded Computer*.
- *Sharing Meaningful Information*.
- Komunikasi yang aman.
- *Collaborative behavior*.
- *Modular and decentralized control architecture*.
- Produk pintar.
- *After sales services*.
- *Cloud computing*.
- *Cloud connection*.
- *Online data analysis*.
- *Customization and real time capability*.
- *Online monitoring and control*.

c. Konsep lean manufacturing yang dipilih meliputi:

- Produksi sistem tarik.
- Aliran produksi berkesinambungan (*Continues*).
- Pengurangan waktu setup.
- *Supplier Feedback*.
- *Supplier development*.
- *Just in time by suppliers*.
- *Customers involvement*.
- *Total Productive Maintenance*.
- *Statistic Process Control (SPC)*.

- *Employee Involvement.*

2. Dalam membuat model simulasi tata letak pabrik yang paling utama adalah memilah persyaratan model industri 4.0 untuk teknologi tata letak pabrik, *smart factory*, dan *lean manufacturing*. Kemudian hasil pemilahan untuk ketiga konsep ini dibuat model hubungan dan integrasinya, selanjutnya model hasil integrasi dituangkan dalam mendesain model simulasi tata letaknya yang sesuai dengan rancangan proses pengolahan pasir besi yang dibuat. Adapun hasil simulasi rancangan yang dibuat meliputi:
 - a. Desain model simulasi didasarkan hasil eksperimen pembuatan besi pellet/besi *sponge* dengan kadar ferrum (**Fe**) sebesar **60,44%**, dan **Fe₂O₃** sebesar **86,34%**, ini layak sebagai bahan baku pembuatan plat baja. Tahapan proses operasi dalam eksperimen ini merupakan dasar dalam pembuatan tata letak (*layout*) model simulasi.
 - b. Hasil model simulasi yang dibuat berupa nilai produktivitas, yang terdiri nilai produktivitas tata letak awal yang terbagi menjadi Departemen Preparasi dengan nilai rata-rata sebesar **94,14%**, Departemen Proses nilai rata-rata sebesar **91,50%**, Departemen Finishing nilai rata-rata sebesar **86,75%**. Sedangkan nilai produktivitas tata letak hasil perbaikan untuk Departemen Preparasi nilai rata-rata sebesar **99,62%**, Departemen Proses nilai rata-rata sebesar **99,44%**, dan Departemen Finishing nilai rata-rata sebesar **99,13%**.
 - c. Dengan diperoleh nilai produktivitas untuk tata letak awal dan tata letak perbaikan, maka ada nilai peningkatan produktivitas rata-rata **5,49%** sampai dengan **12,87%** tergantung dari departemen masing-masing.
 - d. Perbedaan nilai produktivitas awal dengan tata letak hasil perbaikan disebabkan oleh jarak perpindahan antar mesin dan desain tata letak. Jarak antar mesin di tata letak perbaikan lebih dekat dibanding

tata letak awal. Ini dikarenakan desain tata letak perbaikan lebih optimal dan lebih *lean* dibanding tata letak awal.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan kemandirian pasokan bahan baku untuk industri pertahanan, sebaiknya pemerintah menerapkan proteksi, pada vendor lokal yang memproduksi material, agar vendor tersebut dapat bersaing dengan vendor asing. Sebagai contoh untuk vendor besi pellet/besi sponge yang menggunakan bahan baku pasir besi lokal proteksinya harus diutamakan.

Penerapan konsep industri 4.0, sebaiknya untuk industri pertahanan di Indonesia dilakukan secara bertahap disesuaikan dengan tingkatan kemampuan dan teknologi yang dimiliki perusahaan. Karena dilihat dari syarat minimum penerapan industri 4.0, perusahaan industri pertahanan di Indonesia sistem dan teknologinya saat ini belum memenuhi syarat.

Dalam membuat model simulasi sebaiknya menggunakan *original software*, karena dengan *software* tersebut fitur-fitur beragam dan jumlahnya tidak dibatasi berbeda dengan *software free version* fitur dan jumlah penggunaannya dibatasi. Sebagai contoh *software FlexSim 2018* versi *Student* dibatasi hanya maksimal 30 fitur sekali desain.

DAFTAR PUSTAKA

Jurnal Internasional

- Alefari, Mudhafar, Salonitis, Konstantinos, Xu, Yuchun, 2017. *The role of leadership in implementing lean manufacturing*, Journal of Elsevier
- Ali, M. Rehab, Deif, M. Ahmed, 2014. *Dynamic Lean Assessment for Takt Time Implementation*, Journal of Elsevier
- Blaž RODIČ, 2017. *Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm*, Organizacija, Volume 50
- Deshpande, Vivek, Patil, D. Nitish, Baviskar, Vilas, Gandhi, Jaivesh. 2016, *Plant Layout Optimization using CRAFT and ALDEP Methodology*, Jurnal ResearchGate.
- Gracia, Erik Flores, Ruiz Zuniga, Enrique, Bruch, Jessica 2018. *Simulation-based Optimization for Facility Layout Design in Conditions of High uncertainty*, Journal of Elsevier.
- Gyulai, David, Zaller, Adam, Janos. Viharos, Zsolt. 2016, *Simulation-based Flexible Layout Planning Considering Stochastic Effects*, Journal of Elsevier.
- Koska. Alaeddin, Goksu, Nusret, Erdem Banu, Mehri, Seçil Fettahlioglu, 2017. *Measuring the Maturity of a Factory for Industry 4.0*, International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences 2017, Vol. 7, No. 7 ISSN: 2222-6990.
- Kovacs, G., Kot, Sebastian, 2017. *Facility Layout Redesign for Efficiency Improvement and Cost Reduction*, Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics.
- Lee, E.A., 2008. *Cyber physical systems: Design challenges*. In *Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 11th IEEE International Symposium*.
- Lee, Jay, 2015. *Smart Factory Systems*. Journal of Infomatik Spektrum-Intelligente Energienetze, Springer.
- Lee, Jay, Bagheri, B., and H.A. Kao, H.A., 2015. *A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems*. Manufacturing Letters, Journal of Springer.

- Meyer, Kurt. 1980, *Pelletizing of Iron Ores*. Springer Verlag: Berlin-New York.
- Mabkhot, 2018. *Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective*, Journal MDPI.
- Mohamad, E, Ibrahim, M.A., Shibghatullah, A.S., Rahman, A.A, M., Sulaiman, M.A., Rahman, A.A.A., Abdullah, S and Salleh, M.R. 2016, *A Simulation-Based Approach for Lean Manufacturing Tools Implementation: A Review*, Journal of Engineering and Applied Sciences
- Naik, B. Sanjeev, Kallurkar, Shrikant. 2016, *A Literature Review On Efficient Plant Layout Design*, International Journal of Industrial Engineering Research and Development (IJIERD) Volume 7.
- Nordgren, Bill, 2017. *Modeling, Simulation and Analysis with FlexSim*, Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference.
- Prasad, N. Hari, Rajyalakshmi.G., Sreenivasulu Reddy. A., 2014. *A Typical Manufacturing Plant Layout Design Using CRAFT Algorithm*, Journal of Elsevier
- Roblek, Vasja, Meško Maja, and Krapež Alojz. (2016), *A Complex View of Industry 4.0*, Journal of Sage.
- Sanders, Adam, Elangeswaran, Chola, Wulfsberg, Jens. 2016. *Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing*, Journal of Industrial Engineering and Management
- Schmidt, Rainer, Möhring, Michael, Christian Härting, Ralf, Reichstein, Christopher, Neumaier, Pascal, Jozinović, Philip. 2015, *Industry 4.0- Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results*, Journal of ResearchGate.
- Singh, G.P., Sundeep, R. P. Choudhary, R.P., Vardhan, H., Aruna, M., Akolkar, A.B., 2015. *Iron Ore Pelletization Technology and its Environmental Impact Assessment in Eastern Region of India - A Case Study*, Journal of ScienceDirect, Elsevier.
- Soraya Hepi, Yofa, Ishardita Pambudi Tama, Ishardita, Ceria Farela M.T. Ceria, 2017. *Re-Designing of Facility Layout with Cellular Manufacturing System Approach*. Jurnal ResearchGate

Sundar, R, A.N., Balaji, A. N., Satheesh Kumar, Satheesh R.M. 2014, *A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques*, Journal of Elsevier.

ZHENG, Pai, WANG, Honghui, SANG, Zhiqian, Y. ZHONG, Y. RayLIU, Yongkui, Chao LIU, Khamdi MUBAROK, Shiqiang YU, Xun XU (2018), *Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives* Journal of Springer.

Zhong, Ray Y., Xu, Xun, Eberhard Klotz, Stephen T. Newman, 2017. *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*, Journal of Engineering, Elsevier.

Jurnal Nasional

Bindar, Yazid, Irawan, Anton, Kurniawan, Teguh. 2015, *Pemodelan Rotary Kiln pada Produksi Besi Spons*, Jurnal ResearchGate.

Darmawan Ihsan, Rizaldi, Iqbal, Muhammad, Pratami, Devi, Puspita Arum, Ika, 2015. *Perbaikan Tata Letak Fasilitas Produksi Menggunakan Algoritma CRAFT*, Jurnal ResearchGate

Jamali, Adil. 2010, *Pembuatan Briket Besi Sponge Dari Bahan Baku Lokal*, UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung-LIPI.

Pranoto, Yugo, Atmadja, Tirta Sugeng, Umardani, Yusuf. 2015, *Uji Karakteristik Sponge Iron Hasil Reduksi Menggunakan Burber Las Asitelin dari Pasir Besi Pantai Asemdayong Pematang, Jurnal Teknik Mesin Vol. 3 No.2.*

Prasetya, Alexander, Noya, Sunday, 2015. *Perancangan Tata Letak Fasilitas Dengan Pendekatan Lean Manufacturing*, Jurnal ResearchGate

Prasetyo, Hoedi, Sutopo, Wahyudi. 2017, *Perkembangan Keilmuan Teknik Industri Menuju Era Industri 4.0, Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2017.*

Ristono, Agus, 2015. *Perancangan Tata Letak Fleksibel dengan Teori Graph*, Jurnal Teknik Industri Volume 8, No. 1.

Tahir, Suharto, Syukriah, Baidhawi, Sayed, 2015. Usulan Perbaikan Tata Letak Fasilitas dengan Menggunakan Algoritma CRAFT, *Malikussaleh Industrial Engineering Journal* Vol.4 No.2

Tim Kerja Pembuatan Pelet. 1984, Penelitian Pembuatan Pellet Dari Konsentrat Pasir Besi Yogyakarta Untuk Bahan Baku Pellet PT. Krakatau Steel Cilegon. PPTM Bandung.

Tex Book

Averill M. Law & W. David Kelton, 1991. *Simulation Modeling & Analysis, second edition*, McGraw-Hill, 1991; International

Flexim Company, 2018. *Flexsim User Manual*.

Habashi, Fathi. 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy* Volume 1. Wiley-Vach: New York, Toronto, Brisbane.

McKinsey & Company, 2015. Industri 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector. McKinsey Digital.

Ohno, Taiichi, 1990, *Toyota Production System*. Productivity Press.

PSDC, 2017. Restructuring Existing Workforce Towards Higher-skilled Workers Industry 4.0: Centre of Excellence Leading Factory and Future.

PWC, 2016. Industry 4.0: Building the digital enterprise

Rubmann, Michael, Lorenz, Markus, Gerbert Philipp, Waldner, Manuela, Judtus, Jan, Engel, Pascal and Harnisch, Michael, 2015. *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, BCG Perspectives.

Tompkins J.A., White J.A., Bozer, Tanchoco J.M.A. 2003. *Facilities Planning, Third Edition*, John Wiley & Sons, Inc, California.

Buku

Direktorat Inventarisasi Sumberdaya Mineral, 2005. Pedoman Teknis Eksplorasi Pasir Besi.

Pusat Sumber Daya Geologi, 2014. Pasir Besi di Indonesia Geologi, Eksplorasi dan Pemanfaatannya.

Sutalaksana Iftikar Z., Anggawisastra Ruhana, dan Tjakraatmadja Jann H. (2006). *Teknik Perancangan Sistem Kerja*. ITB Press. Bandung.

Wignjosoebroto, Sritomo. 2003. Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan 3th Edition. Guna Widya, Surabaya.

Artikel

Kementerian Perindustrian, 2014, Profil industri baja

PT. Krakatau Steel, 2018. *Company Profile*




Website

[http://www.byantech.com/kategori-pabrik/pengolahan-pasir-bijih-besi/fungsi- dan-kegunaan/](http://www.byantech.com/kategori-pabrik/pengolahan-pasir-bijih-besi/fungsi-dan-kegunaan/) diakses: 3 Juni 2018.


www.fertobhades.files.wordpress.com diakses 3 Juni 2018

LAMPIRAN


Lampiran A: Laporan Pengujian A-1

	<p>BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027 Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@b4t.go.id</p>
LAPORAN PENGUJIAN <i>Test Report</i>	
NO. LAPORAN <i>Report No.</i>	: 4-15-18-00102
BAHAN / KOMODITI <i>Material / Commodity</i>	: IRON SAND
DIBUAT UNTUK <i>Executed for</i>	: DR. SOVIAN ARITONANG Kompleks IPSC Sentul, Bogor.
DITERIMA TANGGAL <i>Received Date</i>	: September 12, 2018
URAIAN CONTOH <i>Detail of Sample</i>	: We have received 1 (one) sample Iron Sand (A - 1), for testing.
TANGGAL PENGUJIAN <i>Tested Date</i>	: September 12, 2018 s/d September 24, 2018
STANDAR ACUAN/METODA UJI <i>Test Method / Reference Standard</i>	: ASTM C 575 - 05
STANDAR SPESIFIKASI <i>Specification Standard</i>	: -
METODE DAN PERENCANAAN PENGAMBILAN CONTOH <i>Sampling Method and Sampling Plan</i>	: -
TANGGAL PENGAMBILAN CONTOH <i>Sampling Date</i>	: -
LOKASI PENGAMBILAN CONTOH <i>Sampling Location</i>	: -
HASIL PENGUJIAN <i>Test Result</i>	: Terlampir <i>(Attached)</i>
DITERBITKAN TANGGAL <i>Issued Date</i>	: September 24, 2018
 Bidang Standardisasi Kepala Seksi Penyusunan Standard,  GALIH GINANJAR NIP. 198008222002121001	
<p>Keterangan : 1. Hasil pengujian ini tidak untuk ditunumkan, dan hanya berlaku untuk contoh yang bersangkutan. <i>This report not for publication and the result here in are for the submitted sample only.</i> 2. Laporan ini tidak boleh diperbanyak kecuali secara keseluruhan. <i>This report shall not be reproduced except in full.</i></p>	

Lampiran C: Laporan Pengujian A-2

		BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027 Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@b4t.go.id	
LAPORAN PENGUJIAN			
<i>Test Report</i>			
<u>NO. LAPORAN</u> <i>Report No.</i>	:	4-15-18-00103	
<u>BAHAN / KOMODITI</u> <i>Material / Commodity</i>	:	IRON SAND	
<u>DIBUAT UNTUK</u> <i>Executed for</i>	:	DR. SOVIAN ARITONANG Kompleks IPSC Sentul, Bogor.	
<u>DITERIMA TANGGAL</u> <i>Received Date</i>	:	September 12, 2018	
<u>URAIAN CONTOH</u> <i>Detail of Sample</i>	:	We have received 1 (one) sample Iron Sand (A - 2), for testing.	
<u>TANGGAL PENGUJIAN</u> <i>Tested Date</i>	:	September 12, 2018 s/d September 24, 2018	
<u>STANDAR ACUAN/METODA UJI</u> <i>Test Method / Reference Standard</i>	:	ASTM C 575 - 05	
<u>STANDAR SPESIFIKASI</u> <i>Specification Standard</i>	:	-	
<u>METODE DAN PERENCANAAN PENGAMBILAN CONTOH</u> <i>Sampling Method and Sampling Plan</i>	:	-	
<u>TANGGAL PENGAMBILAN CONTOH</u> <i>Sampling Date</i>	:	-	
<u>LOKASI PENGAMBILAN CONTOH</u> <i>Sampling Location</i>	:	-	
<u>HASIL PENGUJIAN</u> <i>Test Result</i>	:	Terlampir <i>(Attached)</i>	
<u>DITERBITKAN TANGGAL</u> <i>Issued Date</i>	:	September 24, 2018	
 Bidang Standardisasi Kepala Seksi Penyusunan Standard, GALIH GINANJAR NIP. 19800822002121001			
Keterangan : 1. Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan, dan hanya berlaku untuk contoh yang bersangkutan. <i>This report not for publication and the result here in are for the submitted sample only.</i> 2. Laporan ini tidak boleh diperbanyak kecuali secara keseluruhan. <i>This report shall not be reproduced except in full.</i>			

Lampiran D: Test Result A-2


Kementerian Perindustrian
 REPUBLIK INDONESIA


BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
 Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA
 Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
 Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@bdg.centrin.net.id

REPORT Nr. : 4-24-18-00103

TEST RESULTS

Result Of the Chemical Analysis Based on dried sample (105°C) in % weight

DESCRIPTION	RESULT	TESTING METHOD
	A - 2	
Silika Oxide (SiO ₂)	1,02	ASTM C 575 - 05
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	86,34	
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	0,72	
Iron..... (Fe)	60,44	
Manganese..... (Mn)	0,96	
Titan Oxide (TiO ₃)	10,46	
Specific Gravity	1,70	



Page 2 of 2

F.49.24.b/01/Rev.01/10012017

ATTENTION A : The test (s) reported here in have been performed in accordance with its term of registration
 B : This report not for publication and the result here in are for the submitted sample only
 This report shall not be reproduced except in full.

Lampiran E: Laporan Pengujian A-3


BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
 Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA
 Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
 Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@b4t.go.id

LAPORAN PENGUJIAN
Test Report

NO. LAPORAN <i>Report No.</i>	: 4-15-18-00104
BAHAN / KOMODITI <i>Material / Commodity</i>	: IRON SAND
DIBUAT UNTUK <i>Executed for</i>	: DR. SOVIAN ARITONANG Kompleks IPSC Sentul, Bogor.
DITERIMA TANGGAL <i>Received Date</i>	: September 12, 2018
URAIAN CONTOH <i>Detail of Sample</i>	: We have received 1 (one) sample Iron Sand (A - 3), for testing.
TANGGAL PENGUJIAN <i>Tested Date</i>	: September 12, 2018 s/d September 24, 2018
STANDAR ACUAN/METODA UJI <i>Test Method / Reference Standard</i>	: ASTM C 575 - 05
STANDAR SPESIFIKASI <i>Specification Standard</i>	: -
METODE DAN PERENCANAAN PENGAMBILAN CONTOH <i>Sampling Method and Sampling Plan</i>	: -
TANGGAL PENGAMBILAN CONTOH <i>Sampling Date</i>	: -
LOKASI PENGAMBILAN CONTOH <i>Sampling Location</i>	: -
HASIL PENGUJIAN <i>Test Result</i>	: Terlampir <i>(Attached)</i>
DITERBITKAN TANGGAL <i>Issued Date</i>	: September 24, 2018




Bidang Standardisasi
Kepala Seksi Penyusunan Standard,

GALIH GINANJAR
NIP. 198008222002121001

Keterangan : 1. Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan, dan hanya berlaku untuk contoh yang bersangkutan.
This report not for publication and the result here in are for the submitted sample only.
2. Laporan ini tidak boleh diperbanyak kecuali secara keseluruhan.
This report shall not be reproduced except in full.

Lampiran F: Test Result A-3



**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA


BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA
Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@bdg.centrin.net.id

REPORT Nr. : 4-24-18-00104

TEST RESULTS

Result Of the Chemical Analysis Based on dried sample (105°C) in % weight

DESCRIPTION	<u>RESULT</u>	TESTING METHOD
	A - 3	
Silika Oxide (SiO ₂)	5,06	ASTM C 575 - 05
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	82,29	
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	0,70	
Iron..... (Fe)	57,60	
Manganese..... (Mn)	0,87	
Titan Oxide (TiO ₃)	10,97	
Specific Gravity	1,69	






Page 2 of 2


F.49.24.b/01/Rev.01/10012017

ATTENTION A : The test (s) reported here in have been performed in accordance with its term of registration
 B : This report not for publication and the result here in are for the submitted sample only
 This report shall not be reproduced except in full.


Lampiran G: Laporan Pengujian A-4

		<p>BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027 Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@b4t.go.id</p>	
LAPORAN PENGUJIAN			
<i>Test Report</i>			
<u>NO. LAPORAN</u> <i>Report No.</i>	:	4-15-18-00105	
<u>BAHAN / KOMODITI</u> <i>Material / Commodity</i>	:	IRON SAND	
<u>DIBUAT UNTUK</u> <i>Executed for</i>	:	DR. SOVIAN ARITONANG Kompleks IPSC Sentul, Bogor.	
<u>DITERIMA TANGGAL</u> <i>Received Date</i>	:	September 12, 2018	
<u>URAIAN CONTOH</u> <i>Detail of Sample</i>	:	We have received 1 (one) sample Iron Sand (A - 4), for testing.	
<u>TANGGAL PENGUJIAN</u> <i>Tested Date</i>	:	September 12, 2018 s/d September 24, 2018	
<u>STANDAR ACUAN/METODA UJI</u> <i>Test Method / Reference Standard</i>	:	ASTM C 575 - 05	
<u>STANDAR SPESIFIKASI</u> <i>Specification Standard</i>	:	-	
<u>METODE DAN PERENCANAAN PENGAMBILAN CONTOH</u> <i>Sampling Method and Sampling Plan</i>	:	-	
<u>TANGGAL PENGAMBILAN CONTOH</u> <i>Sampling Date</i>	:	-	
<u>LOKASI PENGAMBILAN CONTOH</u> <i>Sampling Location</i>	:	-	
<u>HASIL PENGUJIAN</u> <i>Test Result</i>	:	Terlampir <i>(Attached)</i>	
<u>DITERBITKAN TANGGAL</u> <i>Issued Date</i>	:	September 24, 2018	
 Bidang Standardisasi Kepala Seksi Penyusunan Standard,  GALIN GINANJAR NIP. 19800822002121001			
<p><u>Keterangan</u> : 1. Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan, dan hanya berlaku untuk contoh yang bersangkutan. <i>This report not for publication and the result here in are for the submitted sample only.</i> 2. Laporan ini tidak boleh diperbanyak kecuali secara keseluruhan. <i>This report shall not be reproduced except in full.</i></p>			

Lampiran I: laporan Pengujian A-5

		<p style="text-align: center;">BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027 Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@b4t.go.id</p>	
LAPORAN PENGUJIAN			
<i>Test Report</i>			
<u>NO. LAPORAN</u> <i>Report No.</i>	:	4-15-18-00106	
<u>BAHAN / KOMODITI</u> <i>Material / Commodity</i>	:	IRON SAND	
<u>DIBUAT UNTUK</u> <i>Executed for</i>	:	DR. SOVIAN ARITONANG Kompleks IPSC Sentul, Bogor.	
<u>DITERIMA TANGGAL</u> <i>Received Date</i>	:	September 12, 2018	
<u>URAIAN CONTOH</u> <i>Detail of Sample</i>	:	We have received 1 (one) sample Iron Sand (A - 5), for testing.	
<u>TANGGAL PENGUJIAN</u> <i>Tested Date</i>	:	September 12, 2018 s/d September 24, 2018	
<u>STANDAR ACUAN/METODA UJI</u> <i>Test Method / Reference Standard</i>	:	ASTM C 575 - 05	
<u>STANDAR SPESIFIKASI</u> <i>Specification Standard</i>	:	-	
<u>METODE DAN PERENCANAAN PENGAMBILAN CONTOH</u> <i>Sampling Method and Sampling Plan</i>	:	-	
<u>TANGGAL PENGAMBILAN CONTOH</u> <i>Sampling Date</i>	:	-	
<u>LOKASI PENGAMBILAN CONTOH</u> <i>Sampling Location</i>	:	-	
<u>HASIL PENGUJIAN</u> <i>Test Result</i>	:	Terlampir <i>(Attached)</i>	
<u>DITERBITKAN TANGGAL</u> <i>Issued Date</i>	:	September 24, 2018	
 <p style="text-align: center;">Bidang Standardisasi Kepala Seksi Penyusunan Standard. GALIH GINANJAR NIP. 198008222002121001</p>			
<p>Keterangan : 1. Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan, dan hanya berlaku untuk contoh yang bersangkutan. <i>This report not for publication and the result here in are for the submitted sample only.</i> 2. Laporan ini tidak boleh diperbanyak kecuali secara keseluruhan. <i>This report shall not be reproduced except in full.</i></p>			

Lampiran J: Test Result A-5


Kementerian Perindustrian
 REPUBLIK INDONESIA


BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
 Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA
 Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
 Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@bdg.centrin.net.id

REPORT Nr. : 4-24-18-00106

TEST RESULTS

Result Of the Chemical Analysis Based on dried sample (105°C) in % weight

DESCRIPTION	<u>RESULT</u>	TESTING METHOD
	A - 5	
Silika Oxide (SiO ₂)	51,84	ASTM C 575 - 05
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	33,35	
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	6,04	
Iron..... (Fe)	23,34	
Manganese..... (Mn)	0,79	
Titan Oxide (TiO ₃)	7,48	
Specific Gravity	1,67	



Page 2 of 2

F.49.24.b/01/Rev.01/10012017

ATTENTION A : The test (s) reported here in have been performed in accordance with its term of registration
 B : This report not for publication and the result here in are for the submitted sample only
 This report shall not be reproduced except in full.

Lampiran K: Surat Tugas Penelitian

 <p>KEMENTERIAN PERTAHANAN RI UNIVERSITAS PERTAHANAN</p>		
Nomor	: B/ 1242 /IX/2018	Bogor, 20 September 2018
Klasifikasi	: Biasa	
Lampiran	: -	
Hal	: Permohonan Surat Izin dan Rekomendasi Pelaksanaan Penelitian.	Kepada Yth. 1. Camat Cipetujah 2. Danramil Cipetujah di Tempat

1. Dasar:

- a. Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2011 tentang Universitas Pertahanan sebagai Perguruan Tinggi yang Diselenggarakan Oleh Pemerintah.
- b. Kalender Akademik Program Studi Industri Pertahanan Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan Tahun Akademik 2017/2018.

2. Sehubungan dasar di atas, dengan hormat disampaikan bahwa:

- a. Sebagai syarat kelulusan Program Pascasarjana Universitas Pertahanan, bagi mahasiswa diwajibkan menyusun tesis yang terkait dengan bidang program studinya.
- b. Mahasiswa Program Studi Industri Pertahanan Fakultas Teknologi Pertahanan Unhan stas nama Riyadi Juhana, NIM: 120170401013, nomor HP: 081220030941 rjuhana@gmail.com atau ryadi.juhana@tp.idu.ac.id, bermaksud menyusun tesis dengan judul: "Model Simulasi Tata Letak Fasilitas Pengelolaan Pasir Besi Menjadi Besi Spon Untuk Kemandirian Bahan Baku Baja Di Industri Pertahanan Era Industri 4.0 (I4.0)".

3. Berkensen dengan hal tersebut mohon diizinkan mahasiswa dimaksud untuk melaksanakan penelitian dalam rangka mendapatkan data dan keterangan termasuk melakukan wawancara dengan pejabat yang ditunjuk.

4. Demikian mohon menjadi periksa.

a.n. Rektor
Universitas Pertahanan
Warak UBid, Akademik dan Kemahasiswaan,

Prof. Dr. Ir. Deding Gunawan, M.Eng
Pertama Utama IV/a



Tembusan:

1. Seljen Kemhan
2. Rektor Unhan
3. Warak Unhan
4. Kasatwas Unhan
5. Ka LPPM Unhan
6. Dekan Fakultas Teknologi Pertahanan Unhan
7. Sesprodi Industri Pertahanan FTP Unhan.

Kawasan IPSC Sentul Bogor. Telepon 021-29618768

Lampiran L: Desain Awal Tata Letak Pabrik Besi Besi Sponge Model Industri 4.0 (14.0)Model

