

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini dijelaskan mengenai pembahasan dari rumusan masalah dan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Untuk itu data yang diperoleh, baik itu data primer maupun sekunder, diolah sesuai dengan metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada di dalam penelitian.

4.1 Profil Perusahaan

Dalam sub bab ini dijelaskan mengenai gambaran umum perusahaan, produk, dan bahan baku dari produk dan aktivitas produksi yang ada di Perusahaan Filter Rokok.

4.1.1 Gambaran Umum Perusahaan

Perusahaan pada penelitian ini merupakan salah satu perusahaan industri penghasil filter rokok yang berlokasi di kawasan industri Rungkut, Sidoarjo, Jawa Timur. Perusahaan ini didirikan pada tanggal 8 Juli 1973 dan kemudian beroperasi pada April 1987 berdasarkan persetujuan presiden nomor B-38/pres/4/73.

Perusahaan filter rokok ini memiliki kapasitas produksi sejumlah 1 milyar rods/bulan, dengan berbagai macam jenis produk filter, mulai dari filter mono sampai spesial filter seperti menthol, NWA, CPA/CPS, cavitek, *dual shape*, dan ROA, serta mampu melayani permintaan spesifikasi khusus dari konsumen.

Selain itu dalam proses produksinya, perusahaan berkomitmen untuk menerapkan kebijakan tanggung jawab sosial, memberikan produk berkualitas dengan biaya yang kompetitif, ikut melestarikan lingkungan dengan melakukan pengendalian dampak dari produk dan pelayanan terhadap lingkungan. Perusahaan filter rokok ini berkomitmen untuk terus menjaga lingkungan dengan mencegah polusi dengan mengendalikan emisi, pembuangan, dan pelepasan serta dengan menggunakan proses, bahan, dan praktek yang sesuai, mematuhi semua undang-undang lingkungan dan peraturan yang relevan serta mendidik dan melatih karyawan dalam persyaratan sistem manajemen lingkungan dan peran di dalamnya. Terwujudnya sistem keselamatan, kesehatan, dan lingkungan kerja menjadi tanggung jawab seluruh karyawan dalam semua tingkatan manajemen dan setiap orang yang terlibat dalam kegiatan usaha perusahaan filter rokok melalui penerapan sistem manajemen keselamatan, kesehatan, dan lingkungan kerja yang menjadi sarana

pengendalian resiko, perlindungan lingkungan, dan pengelolaan kegiatan. Keselamatan dan kesehatan lingkungan kerja merupakan aspek utama yang selalu diperhatikan dan secara berkesinambungan dilakukan perbaikan dalam setiap pelaksanaan kegiatan usaha perusahaan filter rokok.

4.1.2 Produk Perusahaan

Perusahaan dalam penelitian ini memproduksi bermacam-macam jenis filter rokok. Pada Tabel 4.1 dijelaskan mengenai jenis filter yang diteliti dalam penelitian ini.

Tabel 4.1
Jenis Filter Perusahaan Filter Rokok

Jenis Filter	Spesifikasi
NWA (<i>Non Wrapped Acetate</i>) 	Filter dengan berbagai rasa, karbon, dan berbagai <i>mono acetate</i> .
CPA/CPS (<i>Carbon Paper Acetate/Carbon Paper Slim</i>) 	Memiliki bentuk dan penampilan super <i>slim</i> .
Cavitek 	Memiliki kualitas terbaik dan mampu meningkatkan brand. Memiliki performansi terbaik dan penampilan menarik.
<i>Dual Shape</i> 	Memiliki penampilan unik (berbeda dengan filter lainnya).
ROA 	Filter dengan standar filtrasi tinggi.
Menthol 	Filter dengan rasa menthol.

4.1.3 Bahan Baku Produk

Bahan baku yang digunakan sebagai bahan produksi filter rokok adalah sebagai berikut.

1. *Acetate Tow*

Merupakan material utama yang digunakan dalam pembuatan filter, terdiri dari kumpulan serat atau filament-filamen kayu yang berbentuk seperti kapas, memiliki warna putih, dan biasanya terletak di tengah filter. *Acetate tow* memiliki panjang 9000 meter dan berat 400-900 kg.



Gambar 4.1 *Acetate tow* sebelum diproses

2. *Plug Warp*

Merupakan kertas yang berfungsi sebagai pembungkus *acetate tow* yang sudah diaplikasikan zat kimia *triacetin* dan sebagai pembungkus segmen-segmen filter mono pada proses produksi filter.



Gambar 4.2 *Plug warp*

3. *Adhesive/Ply-vynil Acetate (PVA)*

Terbuat dari lilin sintetis dan resin yang mempunyai 3 fungsi, yaitu:

- a. Sebagai perekat antar PW atau biasa disebut *lapline*
- b. Sebagai perekat antara *tow* dengan PW atau disebut juga *gumline*
- c. Sebagai perekat antara *baserod* dengan PW atau disebut juga dengan *hotmelt*.

Adhesive yang berbentuk padat akan dimasukkan pada tangki yang terhubung dengan mesin. Tangki tersebut akan dipanaskan pada temperatur 150° C, kemudian *adhesive* yang telah mencair akan dialirkan melalui hose.

4. Karbon

Berbentuk partikel/butiran hitam seperti pasir, karbon berfungsi untuk mengurangi kadar nikotin dalam *tow*.



Gambar 4.3 Karbon

5. Triacetin

Merupakan senyawa kimia yang bersifat asam dengan PH 6,75 yang disemprotkan pada permukaan *acetate tow* setelah mengalami proses *blooming*. Senyawa kimia ini berfungsi untuk melelehkan fiber sementara waktu dan akan mengeras dengan mengikat kembali antara satu fiber *tow* dengan fiber lainnya setelah mengalami proses pendinginan.

4.1.4 Aliran Proses Produksi Filter

Perusahaan dalam penelitian ini merupakan perusahaan yang memproduksi filter rokok dengan bermacam-macam jenis dan dengan proses produksi dari barang mentah hingga *packaging* seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Aliran proses produksi filter

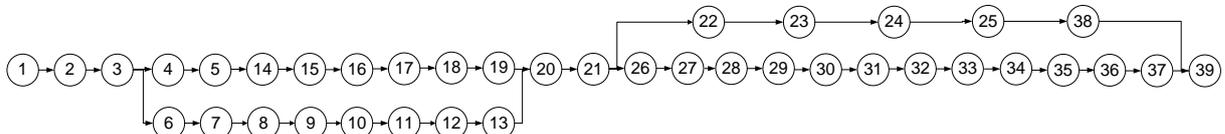
Pada penelitian ini akan membahas mengenai aktivitas yang berada pada laboratorium *quality control*, yang terdiri dari aktivitas pengecekan hasil produksi yang telah diproses dari bahan mentah dan proses mesin, dimana sampel untuk pengecekan diambil 1 kali/*tray* hasil produksi. Kegiatan pengecekan yang diadakan pada laboratorium *quality control* antara lain adalah cek *tray content*, cek *length*, proses *injection/PZ*, pengecekan berat kering dan basah, pengecekan dengan mesin QTM, cek *hardness*, cek *tensile*, cek *centering*, cek *cavity manual*, cek *flute area*, dan pengecekan *florate* yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

4.2 Pengumpulan Data

Dalam sub bab ini akan dijelaskan mengenai data-data yang akan digunakan dalam proses pengolahan data.

4.2.1 Precedence Diagram

Precedence Diagram merupakan alur urutan proses aktivitas. Berikut ini merupakan *precedence diagram* aktivitas laboratorium *quality control* dalam pengecekan keseluruhan produk filter perusahaan filter rokok.



Gambar 4.5 *Precedence diagram* aktivitas laboratorium *quality control* perusahaan filter rokok

Berikut ini merupakan penjelasan dari tiap aktivitas yang dilakukan pada laboratorium *quality control*.

Tabel 4.2

Daftar Aktivitas Laboratorium *Quality Control* Perusahaan Filter Rokok

Jenis Tes	Aktivitas	No. Akt
<i>Sampling</i>	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	1
Cek <i>Tray content</i>	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	2
	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	3
Cek <i>length</i>	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	4
	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	5
Proses <i>Injection</i> /cek <i>Plasticizer (PZ)</i>	Proses menimbang sampel dan menentukan 2 sampel yang mendekati rata-rata untuk Tes <i>PZ</i>	6
	Memotong 2 batang menjadi masing-masing 5 bagian untuk di campur dengan methanol pada tabung	7
	Proses <i>shake</i> pada mesin <i>shaker</i>	8
	Tes <i>PZ</i> dengan mengambil 1 ml dari hasil <i>shake</i> dan dimasukkan pada mesin <i>GC</i>	9
	Proses cek hasil <i>GC</i>	10
Cek berat kering dan basah	Proses mengukur berat basah, kering, dan basah I 10 sampel	11
	Menghitung <i>PZ Content</i> , <i>Tow weight</i> , <i>Carbon content</i> dengan rumus	12
	Memasukkan data	13
Cek <i>Pressure Drop</i>	Memasang 10 sampel pada mesin <i>PD</i>	14
	Proses cek hasil tes dan menyesuaikan dengan spesifikasi	15
Cek <i>Hardness</i>	Atur <i>supply compressed air</i> 4 bar mesin <i>QTM</i> dan menetapkan parameter pengukuran yang dikehendaki	16
	Proses pengovenan 10 batang filter pada 110° C pada mesin <i>QTM</i>	17
	Memasukkan hasil 10 sampel pada mesin <i>hardness tester</i>	18
	Mengambil hasil cek <i>PD</i> dan <i>Hardness</i> untuk dimasukkan hasilnya	19
Cek <i>Tensile</i>	Memotong 10 sampel filter menjadi 2 bagian	20
	<i>Pull out test</i> pada tiap potongan dengan mesin <i>LLOYD</i> dan memasukkan data	21
Cek <i>Centering</i>	Memotong 10 batang masing-masing menjadi 2 bagian	22
	Memasukkan masing-masing potongan pada mesin <i>Phasor</i>	23
	Mencari <i>center</i> batang melalui layar komputer dan memasukkan data	24
Cek <i>florate</i>	Mengecek kandungan menthol 10 sampel filter dan kesesuaiannya dengan spesifikasi	25
Cek <i>Cavity fill</i>	Pengukuran panjang <i>cavity</i> 5 sampel filter yang berisi karbon	26
	Mengupas <i>cavity</i> (A, B, C, D) sehingga tak ada karbon tersisa	27

Jenis Tes	Aktivitas	No. Akt
	Menimbang kandungan carbon per <i>cavity</i>	28
	Menghitung rata-rata karbon dari ke empat <i>cavity</i>	29
	Menghitung rata-rata karbon dari ke lima batang filter	30
Cek Analisa Karbon	Tempatkan karbon dari sampel dalam labu erlenmeyer 250 ml (pastikan semua karbon masuk dalam labu)	31
	Menambahkan kira-kira 100 ml acetone dan kocok sampai acetate larut	32
	Menyaring hasil dengan gelas saring yang dilapisi dengan no.1 Whatman filter paper dan sudah ditimbang sebelumnya (W1)	33
	Memasukkan ke dalam oven dengan temperature 105 C	34
	Mendinginkan dalam desikator, lalu timbang kembali dengan akurasi 0,1 mg (W2)	35
	Menghitung kadar karbon dengan rumus	36
	Memasukkan data pada sheet yang tersedia dan MES	37
Cek <i>Flute area</i>	Mengecek lubang pada batang filter (spesifikasi jumlah, diameter, <i>ovality</i>) dan memasukkan data	38
<i>Finishing</i>	<i>Final Inspection</i>	39

Berikut ini pada Tabel 4.3 merupakan penjelasan mesin yang digunakan tiap aktivitas yang dilakukan pada laboratorium *quality control*.

Tabel 4.3

Daftar Alat dan Rumus untuk Aktivitas Laboratorium *Quality Control* Perusahaan Filter Rokok

Jenis Tes	Keterangan	Alat dan Rumus yang Diperlukan
<i>Sampling</i>	Kegiatan mengambil data sampel pada mesin produksi untuk diuji	Alat: <i>hand pallet</i>
Cek <i>Tray content</i>	Kegiatan menghitung isi dalam <i>tray</i> dengan menggunakan rumus	Rumus yang digunakan: isi <i>tray</i> (<i>rods/tray</i>) = (jumlah filter pada baris 1 menurut panjang <i>tray</i> x jumlah filter pada baris 1 menurut lebar <i>tray</i>) + (jumlah filter pada baris 2 menurut panjang <i>tray</i> x jumlah filter pada baris 2 menurut lebar <i>tray</i>)
Cek <i>length</i>	Kegiatan mengukur panjang sampel secara acak untuk disesuaikan dengan spesifikasi yang ditentukan	Alat: <i>mitutoyo length gauge, caliper, slitter</i> , dan meja lampu (<i>custom made</i>)
Proses <i>Injection</i> /cek <i>Plasticizer</i> (PZ)	Mengetahui kandungan <i>Plasticizer</i> di dalam filter yang menyatukan busa <i>tow</i> , sehingga hal ini juga mempengaruhi keras bahan (<i>hardness</i>)	Alat: Timbangan laboratorium, tabung kaca, mesin shaker, dan mesin GC (<i>gas chromatograph</i>)
Cek berat kering dan basah	Kegiatan untuk mengetahui berat kering (berat filter tanpa PZ dan bahan aditif), berat basah (berat filter dengan PZ dan bahan aditif tanpa karbon), dan berat basah I (berat filter dengan PZ dan bahan aditif dengan karbon)	Alat: Timbangan laboratorium Rumus yang digunakan: PZ <i>content</i> = berat basah - berat kering; Berat <i>tow</i> = berat kering - berat <i>plug wrap</i> - berat <i>glue</i> ; Berat kertas (gram) = (lebar kertas (mm) x panjang filter (mm) x gramatue (gram/m ²))/1000000; Berat karbon = berat basah I - berat basah;

Jenis Tes	Keterangan	Alat dan Rumus yang Diperlukan
		% Karbon = (berat karbon/berat basah I) * 100
Cek <i>Pressure Drop</i>	Kegiatan untuk mengetahui tahanan hisap filter	Alat: mesin <i>pressure drop</i>
Cek <i>Hardness</i>	Kegiatan untuk mengetahui keras bahan	Alat: mesin QTM, mesin <i>hardness tester</i>
Cek <i>Tensile</i>	Kegiatan mengetahui kekuatan bahan ketika filter dihisap	Alat: Mesin LLOYD (Nilai hasil kekuatan hisap minimal 14 N dan maksimal 27 N)
Cek <i>Centering</i>	Kegiatan memastikan posisi benang perasa tepat di tengah filter, hasil berupa presentase dimana semakin jauh letak benang dari tengah filter, semakin besar prosentasenya	Alat: mesin Phasor
Cek <i>florate</i>	Kegiatan mengetahui besar kandungan rasa menthol dalam filter	Alat: Timbangan laboratorium Rumus yang digunakan: $Rumus\ konsentrasi\ sampel\ menthol\ teor\ 100rods) = \frac{w2 \times 1000 \times 20}{100} \times 100\ rods$ $Purity\ sample = \frac{Rata-rata\ hasil\ inject\ sampel}{konsentrasi\ sample\ teoriti}$
Cek <i>Cavity fill</i>	Kegiatan mengetahui berat kandungan karbon rata-rata	Alat: Timbangan laboratorium Rumus yang digunakan: Karbon/ <i>cavity</i> = (berat filter dengan karbon - berat filter tanpa karbon) x 1000/ (jumlah <i>cavity</i> dalam 10 rods)
Cek Analisa Karbon	Kegiatan mengetahui kadar karbon dalam filter, yang dinyatakan dalam berat (gr/100 rod) dan <i>carbon loading</i> (mg/mm)	Alat: labu Erlenmeyer, desikator, dan oven Rumus yang digunakan: $Carbon\ content\ (dry) = (W2 - W1) \times 50 \times \frac{97,5}{100}$ $Carbon\ loading\ (dry) = \frac{W2 - W1 \times 1000}{Panjang\ rod\ (dgn\ karbon)} \times \frac{97,5}{100}$ Faktor 97,5/100 adalah perkiraan sedikit sisa triacetin dalam karbon
Cek <i>Flute area</i>	Kegiatan mengetahui spesifikasi ukuran dan jumlah lingkaran yang terdapat di pinggir filter	-
<i>Finishing</i>	Inspeksi akhir akan hasil uji dan pengecekan data	-

4.2.2 Data Aktivitas di Laboratorium *Quality Control*

Pada perusahaan filter rokok ini, terdapat 6 jenis filter yang diproduksi setiap harinya dengan menggunakan beberapa dari 22 mesin yang ada di lantai produksi. Jenis filter tersebut adalah menthol, ROA, CPA/CPS, cavitek, *dual shape*, dan NWA. Pada setiap jenis filter tersebut memiliki aktivitas pengerjaan berbeda-beda di laboratorium *quality control*, dalam arti tidak semua 39 aktivitas dikerjakan pada setiap jenis produk. Berikut ini adalah jenis aktivitas yang dikerjakan untuk setiap produk di laboratorium *quality control* (nomor aktivitas berdasarkan Tabel 4.2).

1. Produk filter menthol

Berikut ini merupakan penjelasan aktivitas-aktivitas yang dilakukan pada produk filter menthol.

Tabel 4.4
Daftar Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter Menthol

Jenis Tes	Aktivitas	No. Akt
<i>Sampling</i>	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	1
Cek <i>Tray content</i>	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	2
	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	3
Cek <i>length</i>	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	4
	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	5
Proses <i>Injection/cek Plasticizer (PZ)</i>	Proses menimbang sampel dan menentukan 2 sampel yang mendekati rata-rata untuk Tes PZ	6
	Memotong 2 batang menjadi masing-masing 5 bagian untuk di campur dengan methanol pada tabung	7
	Proses <i>shake</i> pada mesin <i>shaker</i>	8
	Tes PZ dengan mengambil 1 ml dari hasil shake dan dimasukkan pada mesin GC	9
	Proses cek hasil GC	10
Cek berat kering dan basah	Proses mengukur berat basah, kering, dan basah I 10 sampel	11
	Menghitung <i>PZ Content, Tow weight, Carbon content</i> dengan rumus	12
	Memasukkan data	13
Cek <i>Pressure Drop</i>	Memasang 10 sampel pada mesin PD	14
	Proses cek hasil tes dan menyesuaikan dengan spesifikasi	15
Cek <i>Hardness</i>	Atur <i>supply compressed air</i> 4 bar mesin QTM dan menetapkan parameter pengukuran yang dikehendaki	16
	Proses pengovenan 10 batang filter pada 110° C pada mesin QTM	17
	Memasukkan hasil 10 sampel pada mesin <i>hardness</i>	18
	Mengambil hasil cek PD dan <i>Hardness</i> untuk dimasukkan hasilnya	19
Cek <i>Tensile</i>	Memotong 10 sampel filter menjadi 2 bagian	20
	<i>Pull out test</i> pada tiap potongan dengan mesin LLOYD dan memasukkan data	21
Cek <i>Centering</i>	Memotong 10 batang masing-masing menjadi 2 bagian	22
	Memasukkan masing-masing potongan pada mesin Phasor	23
	Mencari center batang melalui layar komputer dan memasukkan data	24
Cek <i>florate</i>	Mengecek kandungan menthol 10 sampel filter dan kesesuaiannya dengan spesifikasi	25
Cek <i>Flute area</i>	Mengecek lubang pada batang filter (spesifikasi jumlah, diameter, <i>ovality</i>) dan memasukkan data	38
<i>Finishing</i>	<i>Final Inspection</i>	39

2. Produk filter ROA

Berikut ini merupakan penjelasan aktivitas-aktivitas yang dilakukan pada produk filter ROA.

Tabel 4.5
Daftar Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter ROA

Jenis Tes	Aktivitas	No. Akt
<i>Sampling</i>	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	1
Cek <i>Tray content</i>	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	2
	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	3
Cek <i>length</i>	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	4
	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	5
Proses <i>Injection</i> /cek Plasticizer (PZ)	Proses menimbang sampel dan menentukan 2 sampel yang mendekati rata-rata untuk Tes PZ	6
	Memotong 2 batang menjadi masing-masing 5 bagian untuk di campur dengan methanol pada tabung	7
	Proses <i>shake</i> pada mesin <i>shaker</i>	8
	Tes PZ dengan mengambil 1 ml dari hasil <i>shake</i> dan dimasukkan pada mesin GC	9
	Proses cek hasil GC	10
Cek berat kering dan basah	Proses mengukur berat basah, kering, dan basah I 10 sampel	11
	Menghitung PZ <i>Content</i> , <i>Tow weight</i> , <i>Carbon content</i> dengan rumus	12
	Memasukkan data	13
Cek <i>Pressure Drop</i>	Memasang 10 sampel pada mesin PD	14
	Proses cek hasil tes dan menyesuaikan dengan spesifikasi	15
Cek <i>Hardness</i>	Atur <i>supply compressed air</i> 4 bar mesin QTM dan menetapkan parameter pengukuran yang dikehendaki	16
	Proses pengovenan 10 batang filter pada 110° C pada mesin QTM	17
	Memasukkan hasil 10 sampel pada mesin <i>hardness</i>	18
	Mengambil hasil cek PD dan <i>Hardness</i> untuk dimasukkan hasilnya	19
Cek <i>Tensile</i>	Memotong 10 sampel filter menjadi 2 bagian	20
	<i>Pull out test</i> pada tiap potongan dengan mesin LLOYD dan memasukkan data	21
Cek <i>Cavity fill</i>	Pengukuran panjang <i>cavity</i> 5 sampel filter yang berisi karbon	26
	Mengupas <i>cavity</i> (A, B, C, D) sehingga tak ada karbon tersisa	27
	Menimbang kandungan carbon per <i>cavity</i>	28
	Menghitung rata-rata karbon dari ke empat <i>cavity</i>	29
	Menghitung rata-rata karbon dari ke lima batang filter	30
Cek Analisa Karbon	Tempatkan karbon dari sampel dalam labu erlenmeyer 250 ml (pastikan semua karbon masuk dalam labu)	31
	Menambahkan kira-kira 100 ml acetone dan kocok sampai acetate larut	32
	Menyaring hasil dengan gelas saring yang dilapisi dengan no.1 Whatman filter paper dan sudah ditimbang sebelumnya (W1)	33
	Memasukkan ke dalam oven dengan temperature 105 C	34
	Mendinginkan dalam desikator, lalu timbang kembali dengan akurasi 0,1 mg (W2)	35
	Menghitung kadar karbon dengan rumus	36
	Memasukkan data pada sheet yang tersedia dan MES	37
<i>Finishing</i>	<i>Final Inspection</i>	39

3. Produk filter CPA/CPS

Berikut ini merupakan penjelasan aktivitas-aktivitas yang dilakukan pada produk filter CPA/CPS.

Tabel 4.6

Daftar Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter CPA/CPS

Jenis Tes	Aktivitas	No. Akt
<i>Sampling</i>	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	1
Cek <i>Tray content</i>	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	2
	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	3
Cek <i>length</i>	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	4
	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	5
Proses <i>Injection</i> /cek <i>Plasticizer (PZ)</i>	Proses menimbang sampel dan menentukan 2 sampel yang mendekati rata-rata untuk Tes PZ	6
	Memotong 2 batang menjadi masing-masing 5 bagian untuk di campur dengan methanol pada tabung	7
	Proses <i>shake</i> pada mesin <i>shaker</i>	8
	Tes PZ dengan mengambil 1 ml dari hasil shake dan dimasukkan pada mesin GC	9
	Proses cek hasil GC	10
Cek berat kering dan basah	Proses mengukur berat basah, kering, dan basah I 10 sampel	11
	Menghitung <i>PZ Content</i> , <i>Tow weight</i> , <i>Carbon content</i> dengan rumus	12
	Memasukkan data	13
Cek <i>Pressure Drop</i>	Memasang 10 sampel pada mesin PD	14
	Proses cek hasil tes dan menyesuaikan dengan spesifikasi	15
Cek <i>Hardness</i>	Atur <i>supply compressed air</i> 4 bar mesin QTM dan menetapkan parameter pengukuran yang dikehendaki	16
	Proses pengovenan 10 batang filter pada 110° C pada mesin QTM	17
	Memasukkan hasil 10 sampel pada mesin <i>hardness</i>	18
	Mengambil hasil cek PD dan <i>Hardness</i> untuk dimasukkan hasilnya	19
Cek <i>Tensile</i>	Memotong 10 sampel filter menjadi 2 bagian	20
	<i>Pull out test</i> pada tiap potongan dengan mesin LLOYD dan memasukkan data	21
Cek <i>Centering</i>	Memotong 10 batang masing-masing menjadi 2 bagian	22
	Memasukkan masing-masing potongan pada mesin Phasor	23
	Mencari center batang melalui layar komputer dan memasukkan data	24
Cek <i>Flute area</i>	Mengecek lubang pada batang filter (spesifikasi jumlah, diameter, <i>ovality</i>) dan memasukkan data	38
<i>Finishing</i>	<i>Final Inspection</i>	39

4. Produk filter cavitek

Berikut ini merupakan penjelasan aktivitas-aktivitas yang dilakukan pada produk filter cavitek.

Tabel 4.7
Daftar Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter Cavitek

Jenis Tes	Aktivitas	No. Akt
<i>Sampling</i>	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	1
Cek <i>Tray content</i>	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	2
	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	3
Cek <i>length</i>	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	4
	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	5
Proses <i>Injection</i> /cek Plasticizer (PZ)	Proses menimbang sampel dan menentukan 2 sampel yang mendekati rata-rata untuk Tes PZ	6
	Memotong 2 batang menjadi masing-masing 5 bagian untuk di campur dengan methanol pada tabung	7
	Proses <i>shake</i> pada mesin <i>shaker</i>	8
	Tes PZ dengan mengambil 1 ml dari hasil <i>shake</i> dan dimasukkan pada mesin GC	9
	Proses cek hasil GC	10
Cek berat kering dan basah	Proses mengukur berat basah, kering, dan basah I 10 sampel	11
	Menghitung PZ <i>Content</i> , <i>Tow weight</i> , <i>Carbon content</i> dengan rumus	12
	Memasukkan data	13
Cek <i>Pressure Drop</i>	Memasang 10 sampel pada mesin PD	14
	Proses cek hasil tes dan menyesuaikan dengan spesifikasi	15
Cek <i>Hardness</i>	Atur <i>supply compressed air</i> 4 bar mesin QTM dan menetapkan parameter pengukuran yang dikehendaki	16
	Proses pengovenan 10 batang filter pada 110° C pada mesin QTM	17
	Memasukkan hasil 10 sampel pada mesin <i>hardness</i>	18
	Mengambil hasil cek PD dan <i>Hardness</i> untuk dimasukkan hasilnya	19
Cek <i>Tensile</i>	Memotong 10 sampel filter menjadi 2 bagian	20
	<i>Pull out test</i> pada tiap potongan dengan mesin LLOYD dan memasukkan data	21
Cek <i>Cavity fill</i>	Pengukuran panjang <i>cavity</i> 5 sampel filter yang berisi karbon	26
	Mengupas <i>cavity</i> (A, B, C, D) sehingga tak ada karbon tersisa	27
	Menimbang kandungan carbon per <i>cavity</i>	28
	Menghitung rata-rata karbon dari ke empat <i>cavity</i>	29
	Menghitung rata-rata karbon dari ke lima batang filter	30
Cek Analisa Karbon	Tempatkan karbon dari sampel dalam labu erlenmeyer 250 ml (pastikan semua karbon masuk dalam labu)	31
	Menambahkan kira-kira 100 ml acetone dan kocok sampai acetate larut	32
	Menyaring hasil dengan gelas saring yang dilapisi dengan no.1 Whatman filter paper dan sudah ditimbang sebelumnya (W1)	33
	Memasukkan ke dalam oven dengan temperature 105 C	34
	Mendinginkan dalam desikator, lalu timbang kembali dengan akurasi 0,1 mg (W2)	35
	Menghitung kadar karbon dengan rumus	36
	Memasukkan data pada sheet yang tersedia dan MES	37
<i>Finishing</i>	<i>Final Inspection</i>	39

5. Produk filter dual shape

Berikut ini merupakan penjelasan aktivitas-aktivitas yang dilakukan pada produk filter dual shape.

Tabel 4.8

Daftar Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter Dual Shape

Jenis Tes	Aktivitas	No. Akt
<i>Sampling</i>	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	1
Cek <i>Tray content</i>	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	2
	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	3
Cek <i>length</i>	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	4
	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	5
Proses <i>Injection</i> /cek <i>Plasticizer (PZ)</i>	Proses menimbang sampel dan menentukan 2 sampel yang mendekati rata-rata untuk Tes PZ	6
	Memotong 2 batang menjadi masing-masing 5 bagian untuk di campur dengan methanol pada tabung	7
	Proses <i>shake</i> pada mesin <i>shaker</i>	8
	Tes PZ dengan mengambil 1 ml dari hasil shake dan dimasukkan pada mesin GC	9
	Proses cek hasil GC	10
Cek berat kering dan basah	Proses mengukur berat basah, kering, dan basah I 10 sampel	11
	Menghitung <i>PZ Content</i> , <i>Tow weight</i> , <i>Carbon content</i> dengan rumus	12
	Memasukkan data	13
Cek <i>Pressure Drop</i>	Memasang 10 sampel pada mesin PD	14
	Proses cek hasil tes dan menyesuaikan dengan spesifikasi	15
Cek <i>Hardness</i>	Atur <i>supply compressed air</i> 4 bar mesin QTM dan menetapkan parameter pengukuran yang dikehendaki	16
	Proses pengovenan 10 batang filter pada 110° C pada mesin QTM	17
	Memasukkan hasil 10 sampel pada mesin <i>hardness</i>	18
	Mengambil hasil cek PD dan <i>Hardness</i> untuk dimasukkan hasilnya	19
Cek <i>Tensile</i>	Memotong 10 sampel filter menjadi 2 bagian	20
	<i>Pull out test</i> pada tiap potongan dengan mesin LLOYD dan memasukkan data	21
Cek <i>Centering</i>	Memotong 10 batang masing-masing menjadi 2 bagian	22
	Memasukkan masing-masing potongan pada mesin Phasor	23
	Mencari center batang melalui layar komputer dan memasukkan data	24
Cek <i>Flute area</i>	Mengecek lubang pada batang filter (spesifikasi jumlah, diameter, <i>ovality</i>) dan memasukkan data	38
<i>Finishing</i>	<i>Final Inspection</i>	39

6. Produk filter NWA

Berikut ini merupakan penjelasan aktivitas-aktivitas yang dilakukan pada produk filter NWA.

Tabel 4.9
Daftar Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter NWA

Jenis Tes	Aktivitas	No. Akt
<i>Sampling</i>	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	1
Cek <i>Tray content</i>	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	2
	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	3
Cek <i>length</i>	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	4
	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	5
Proses <i>Injection</i> /cek <i>Plasticizer</i> (PZ)	Proses menimbang sampel dan menentukan 2 sampel yang mendekati rata-rata untuk Tes PZ	6
	Memotong 2 batang menjadi masing-masing 5 bagian untuk di campur dengan methanol pada tabung	7
	Proses <i>shake</i> pada mesin <i>shaker</i>	8
	Tes PZ dengan mengambil 1 ml dari hasil <i>shake</i> dan dimasukkan pada mesin GC	9
	Proses cek hasil GC	10
Cek berat kering dan basah	Proses mengukur berat basah, kering, dan basah I 10 sampel	11
	Menghitung <i>PZ Content</i> , <i>Tow weight</i> , <i>Carbon content</i> dengan rumus	12
	Memasukkan data	13
Cek <i>Pressure Drop</i>	Memasang 10 sampel pada mesin PD	14
	Proses cek hasil tes dan menyesuaikan dengan spesifikasi	15
Cek <i>Hardness</i>	Atur <i>supply compressed air</i> 4 bar mesin QTM dan menetapkan parameter pengukuran yang dikehendaki	16
	Proses pengovenan 10 batang filter pada 110° C pada mesin QTM	17
	Memasukkan hasil 10 sampel pada mesin <i>hardness</i>	18
	Mengambil hasil cek PD dan <i>Hardness</i> untuk dimasukkan hasilnya	19
Cek <i>Tensile</i>	Memotong 10 sampel filter menjadi 2 bagian	20
	<i>Pull out test</i> pada tiap potongan dengan mesin LLOYD dan memasukkan data	21
<i>Finishing</i>	<i>Final Inspection</i>	39

4.2.3 Data Waktu Proses Setiap Aktivitas

Berikut ini adalah rekap waktu setiap aktivitas di laboratorium *quality control* yang didapatkan langsung dari hasil pengamatan di tempat. Satuan waktu proses yang digunakan dalam proses ini adalah satuan waktu detik.

1. Produk filter menthol

Berikut ini merupakan daftar rekap waktu aktivitas yang dilakukan pada produk filter menthol.

Tabel 4.10
Data Waktu Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter Menthol

No. Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	23,98	24,87	21,53	20,97	21,9	21,31	25,65	23,12	22,53	20,87	22,67
2	24,32	23,86	23,31	23,79	23,2	24,39	24	23,95	24,82	25,14	24,08
3	46,3	49,3	52,4	50,3	49,2	48,1	51,7	50,4	47,6	46,5	49,18
4	49,5	52,4	49,6	47,5	50,6	52	47,6	48,6	49,9	53,1	50,08

No. Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	53,7	50,8	47,5	47	48,2	49,7	46,8	51,6	49,9	48,1	49,33
6	52,1	55,3	54,6	55	57,6	58	57,7	57,8	53,8	53,8	55,57
7	16,9	18,7	18,2	16,8	17,9	18,5	19,8	20,3	20,1	15,6	18,28
8	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
9	36,6	33,3	37,6	36,7	33,8	35,9	36,4	37,5	36,8	35,2	35,98
10	129,05	128,75	130,1	129,6	128,95	130,9	131	130,2	130,6	129,05	129,82
11	42,3	46,7	43,7	47,6	45	45,8	47,8	47,6	45,7	44,2	45,64
12	50,7	49,05	57,4	48,95	46,9	50,25	48,65	49,2	48,4	49,95	49,945
13	89,75	87,8	97,5	88,55	85,85	91,15	89,65	89,4	89	89	89,765
14	44,4	42,7	43,4	43,3	46,1	45,2	43,4	47,2	48,1	47	45,08
15	155,1	155,7	154,75	154,75	156,25	156,6	155,75	154,2	154,7	155,75	155,355
16	4,9	6,1	5,7	5,4	7,3	6,4	5,9	8,1	6,4	7,3	6,35
17	74,8	71,8	69,2	67,5	68,4	70,4	67,5	65,7	73,4	74,5	70,32
18	6,2	4,9	5,3	6,4	4,8	6,2	5,6	4,9	5,2	7,1	5,66
19	93,8	91,2	91,25	89,15	92,75	93,1	92,65	89,7	88,2	98,45	92,025
20	9,9	12,1	11,8	10,6	11,3	12,3	10,8	13,1	12,4	11,2	11,55
21	84,4	83,1	92,1	86,1	80,3	87,8	88,2	84,3	89	90,8	86,61
22	31	30,8	28,2	28,6	24,8	26,8	32,1	35,2	33,4	33	30,39
23	32,7	31,8	32,2	33,1	30,4	31,4	32,6	31,6	32,1	30,7	31,86
24	76,24	80,54	81,94	82,54	75,54	75,74	81,44	80,44	79,14	73,54	78,71
25	51,1	53,8	55,9	56,5	52,9	55,3	55,9	53,7	53,1	56,3	54,45
38	151,2	150	150,5	155,4	153,2	151,1	153	149,3	154,1	154,2	152,2
39	93,7	84,6	87,7	89,7	94,8	95,3	91,8	93,2	92,9	95,1	91,88

2. Produk filter ROA

Berikut ini merupakan daftar rekap waktu aktivitas yang dilakukan pada produk filter ROA.

Tabel 4.11

Data Waktu Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter ROA

No Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	23,12	24,53	20,7	25,86	23,6 1	21,54	22,87	20,9 7	20,53	22,76	22,65
2	23,92	24,73	24,31	25,9	23,6 5	24,4	25,34	23,5 2	24,32	22,48	24,26
3	47,6	46,82	56,36	47,45	48,3	57,7	57,13	47	47,67	56,74	51,28
4	53,9	50,8	47,9	49,9	51,3	50,6	49,4	48,4	53,1	52,2	50,75
5	56,2	49,7	54,4	58,9	53,8	54,3	51	60,1	51,2	53,5	54,31
6	59,8	64,1	58,9	59,5	59,1	66,5	61,7	54,7	53,2	51,5	58,9
7	18,1	20,7	19,8	22,3	21	24	22,7	20,8	17,1	18,1	20,46
8	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
9	30,1	30,5	28,3	26,4	30,4	33,8	32,5	34,2	31,1	31	30,83
10	130,45	128,95	129,5 5	130,9	130, 2	128,0 5	129,9 5	131, 2	130,8 5	128,55	129,8 7
11	51,6	46,6	44,6	49,1	45,8	49,9	43,8	46,9	48,9	48,6	47,58
12	47,3	44,45	48,1	47,6	50,1	46,2	43,55	45,0 5	47,55	46,65	46,66
13	87,75	83,4	87,65	88,5	90,3	84,25	83,5	86,2 5	88,4	85,2	86,52
14	45,6	45	46,6	40,6	46,8	46,5	50,3	44,8	48,6	52,6	46,74
15	156,4	155,95	155,2 5	154,7 5	153, 9	155,0 5	156,4	155, 7	153,9 5	154,3	155,1 65
16	4,8	6,1	6,3	5,9	6,6	7,1	6,4	5,8	7,4	5,2	6,16
17	72,8	75,3	71,9	74,6	68,4	69,5	70,6	71,8	67,9	69,4	71,22
18	6,8	5,9	6,6	5,2	5,1	8,6	6,6	6,9	5,9	5,4	6,3
19	91,2	90,45	88,75	90,45	88,2	92,85	93	94,1	89,25	92,5	91,08

No Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20	8,9	10,7	9,9	10,8	9,1	11,1	10,7	9,9	9,3	10,4	10,08
21	82,3	82,3	79,5	81	83,5	77,3	76,6	86,8	86,8	85,7	82,18
26	122,8	122,2	122,3	127	123,5	116,4	116,4	122,7	120	120,8	121,41
27	46,9	37,5	41,8	42,9	42,4	41,9	43,9	39,4	44,1	38,4	41,92
28	45,7	39,5	38,8	40,5	46,7	38	46,7	42,4	41,7	38,5	41,85
29	39,5	41,5	42,1	44,7	40,8	39,5	38,7	41,5	37,7	42,5	40,85
30	41,9	39,6	38,5	42,8	41,7	38,6	39,2	41,8	40,6	38,4	40,31
31	12,8	15,3	13,2	13,9	11,5	10,9	14,6	15,7	12,3	11,8	13,20
32	25,1	26,4	27,2	24,9	24,9	24,5	23,9	28,2	26	25,5	25,66
33	66,6	59,4	68,4	69,3	52,3	64,5	70,6	53,3	64,7	53,6	62,27
34	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
35	67,8	74,9	72,8	73,6	65,9	64,5	81,7	74,4	64,8	79,4	71,98
36	116,7	128,4	124	126,2	114,9	112,3	127,3	111,5	122,6	118,3	120,22
37	34,6	42,1	38,2	32,7	30,9	43,3	34,5	31,6	37,4	37,1	36,24
39	94,1	92,2	89,1	96,7	95,6	97,2	93,6	94,2	95,3	93,1	94,11

3. Produk filter CPA/CPS

Berikut ini merupakan daftar rekap waktu aktivitas yang dilakukan pada produk filter CPA/CPS.

Tabel 4.12

Data Waktu Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter CPA/CPS

No. Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	21,91	23,65	25,99	22,1	23,28	22,76	21,4	22,31	21,75	21,87	22,702
2	24,29	24,14	23,8	25,32	24,37	24,54	25,26	24,98	24,36	25,3	24,636
3	51,8	49,3	50,3	52,1	48,3	55,3	52,9	51	54	53,6	51,86
4	47,5	47,5	49,3	47,6	52,7	50,2	49,9	52,3	50,4	53,1	50,05
5	49,8	53,1	55,7	57,3	47,6	51,4	51,7	51	51	57	52,56
6	68,2	52,4	53,5	52,9	55,8	54,7	57,9	64,8	58,5	57,5	57,62
7	18,1	23,1	22,1	19,3	20,4	26,1	22,8	22,7	24,1	21,8	22,05
8	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
9	34,4	32,5	33,3	34,6	28,8	27,3	31,2	34,1	34	34,4	32,46
10	125,95	123,75	124,75	124,2	125,25	126,45	125,9	123,75	124,65	123,25	124,79
11	47	49,7	47,9	50,5	49,5	50,1	45,7	46,1	49,1	50,4	48,6
12	49,45	48,1	51,15	52,1	49,3	48,05	49,35	50,2	48,45	48,85	49,5
13	85,4	81,85	85,9	86,3	84,55	84,5	85,25	83,95	83,1	82,1	84,29
14	44,2	46,2	45,2	46,1	46,3	44,6	44,2	47,2	49,4	48,8	46,22
15	155,25	154,3	154,7	154,8	155,2	154,35	156,3	155,3	155,45	154,35	155
16	5,3	5,7	7,9	7,1	6,4	6,5	6,2	4,9	7,1	8,3	6,54
17	68,6	73,8	71,8	70,5	69,5	70,7	71,8	67,5	68,4	69,8	70,24
18	6,3	4,7	5,9	5,7	7,2	5,6	6,6	5,3	7,4	6,9	6,16
19	91,75	93,2	92,2	87,3	92,7	90,15	90,9	87,9	96,25	88,85	91,12
20	8,9	10,3	11,3	10,1	12,4	10,9	11,3	11,3	10,4	11,3	10,82
21	91,2	90	87,7	89,5	93,1	95,6	92,6	89,8	98,7	87,9	91,61
22	34,8	33,5	31,1	34,3	33,4	33,7	30,1	37,7	35,8	38,8	34,32

No. Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
23	35,8	32,7	33,9	34,7	35,7	34,6	35,9	33,7	32,6	31,6	34,12
24	85,86	78,36	78,36	80,56	83,36	75,16	76,66	81,06	74,56	79,96	79,39
38	157,2	152,7	149,7	155,4	152,2	156,2	156,5	152,1	150,6	154,3	153,69
39	94,6	95,3	92,6	94,1	93,4	92,1	94,6	93,9	92,7	95,3	93,86

4. Produk filter cavitek

Berikut ini merupakan daftar rekam waktu aktivitas yang dilakukan pada produk filter cavitek.

Tabel 4.13

Data Waktu Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter Cavitek

No. Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	21,21	22,34	23,52	22,32	26,53	22,98	22,39	21,76	21,55	22,32	22,692
2	24,22	25,32	24,5	23,35	23,9	24,64	25,34	24,32	24,5	25,32	24,541
3	54,8	52,9	51,9	48,7	46,5	48,3	51,7	53,4	50,5	52,8	51,15
4	52,9	49,6	50,3	48,1	53,8	50,4	48,2	50,1	47,8	49,3	50,05
5	50,7	49,4	54,1	45,7	48,1	53,3	56,2	53,4	54,8	56,4	52,21
6	64,8	65,1	65	67,1	70,8	66,3	68,8	69,3	66,8	64,8	66,88
7	18,3	18,2	20	18	18,9	16,1	19,5	17,7	18,1	20,2	18,5
8	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
9	30,8	33,7	30,5	29,5	31,9	29,9	27,9	29,2	33,6	31,2	30,82
10	131,45	130,25	128,75	128,25	129,85	129,25	130,25	131,4	129,55	130,2	129,92
11	52,8	44,8	46,3	50,5	50,5	49,3	49	49,6	49,2	45,7	48,77
12	46,25	48,15	45,8	48,2	49,25	49,1	46,05	48,7	50,05	47,75	47,93
13	87,7	88,4	84,55	86,45	89,1	88,35	86,3	90,1	89,6	87,95	87,85
14	40,2	36,2	44,3	48	44,9	41	43,9	42,6	41,1	41	42,32
15	154,75	152,9	156,45	155,25	155,85	155,35	154,75	154,2	154,7	154,45	154,87
16	5,9	7,1	4,4	5,1	7,3	6,3	5,4	6,4	5,8	7,1	6,08
17	67,5	71,7	69,5	75,3	71,8	73,7	78,4	68,5	67,8	69,4	71,36
18	5,6	5,3	8,3	5,1	6,7	6,1	7,2	6,9	7,4	6,5	6,51
19	87,35	86,1	90,55	91,35	94,65	95,85	88,95	89,5	87,8	91,05	90,32
20	10,4	12,3	10,1	11,4	13	12,2	13,3	10,8	11,2	10,9	11,56
21	84,2	82,5	85,7	86,4	75,2	79,7	90	81,9	80,8	82	82,84
26	122,1	115,3	123,5	124,9	122,4	124	119,6	118,9	119	118,3	120,8
27	40,3	46,9	44,9	45,7	41,6	40,4	39,7	37,6	39,4	41,3	41,78
28	45,8	47,5	49,5	46,8	47,2	44,7	39,4	45,8	37,6	38,3	44,26
29	38,8	35,9	39,9	40,5	42,5	40,6	41,5	38,9	40,7	41,4	40,07
30	38,4	35,9	39,5	37,5	40,4	37,5	39,5	36,8	38,8	41,4	38,57
31	15,2	12,8	14,7	13,6	13,9	11,9	14,4	10,2	13,7	12,9	13,33
32	23,9	25,4	28,7	26,5	29	27,1	23,9	24,6	28,2	24,6	26,19
33	57,4	62,8	64,9	61,1	73,6	55,3	59,5	69,3	49,8	51,3	60,5
34	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
35	66,9	77,3	62,4	76,4	63,9	73,7	82,9	58,2	67,7	68,3	69,77
36	112,8	130,9	123,2	113,7	133,2	107,4	118,3	129,2	125,5	115,8	121
37	35,7	31,2	45,8	42,8	40,7	35,4	32,5	32,4	37,5	43,7	37,77
39	93,2	94,7	95,2	97,8	96,4	94,6	94,1	97,1	93,1	93,9	95,01

5. Produk filter dual shape

Berikut ini merupakan daftar rekap waktu aktivitas yang dilakukan pada produk filter dual shape.

Tabel 4.14

Data Waktu Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter Dual Shape

No. Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	25,87	20,78	21,41	20,05	22,15	21,98	23,41	23,61	24,73	21,74	22,573
2	22,98	23,4	25,31	24,57	24,39	25,45	24,13	24,75	24,67	24,53	24,418
3	46,9	48,5	45,8	51,8	53,3	50,4	48,9	51,5	52,2	50,5	49,98
4	49,5	52,6	48,6	55,6	50,2	47,6	48,3	51,9	51,3	48,4	50,4
5	50,2	55,3	55,6	55,2	56,4	53,2	49,2	50,2	52	52,9	53,02
6	57,7	58,2	58,2	51,7	53,4	51,2	51,9	55,5	55,3	56,5	54,96
7	24,1	22,9	19	19	16,4	19,5	23,5	22,1	23,5	18,6	20,86
8	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
9	45,7	46	43,7	40,4	43,2	42,8	41,3	41,6	39,9	38,3	42,29
10	130,95	130,25	129,2	128,25	129,75	130,9	130,15	130,9	128,75	129,25	129,84
11	44,4	47,6	47	47,7	47	45,2	46,9	40,5	49,2	46,2	46,17
12	48,35	44,6	52,65	50,8	46,75	46,25	52,85	49,95	50,05	48,45	49,07
13	89,3	84,85	91,85	89,05	86,5	87,15	93	90,85	88,8	87,7	88,91
14	40,2	39,1	43,4	46,1	41	42,8	42,9	37,7	45	47,1	42,53
15	156,05	155,15	153,9	154,8	155,95	155,2	153,8	154,65	154,4	155,55	154,95
16	5,9	5,8	6,7	7,7	4,8	5,1	4,8	5,9	7,1	6,2	6
17	67,9	68,5	73,7	70,9	71,6	68,4	69,6	72,4	71,9	70,6	70,55
18	6,7	7,1	5,9	7,3	6,9	6,1	5,8	6,3	7,3	4,2	6,36
19	93,95	89,55	92,4	89,5	87,65	90,3	87,6	90,75	87,8	90,75	90,03
20	10,8	11,1	12,2	11,8	10,4	10,7	10	12,1	11,9	12,4	11,34
21	73,4	81	79,3	86,7	78,3	75,1	75,9	82,6	80,5	77,5	79,03
22	24,1	22,3	28,8	28,4	27,8	25,8	24,7	26,1	27,5	30,4	26,59
23	32,7	38,5	36,9	33,6	39,5	36,8	37,5	35,5	38,1	35,9	36,5
24	75,56	81,86	76,36	80,76	83,36	79,96	80,26	79,96	85,96	73,46	79,75
38	163,1	162	158,2	157,1	162,4	157,2	165,2	160,4	162,8	159,1	160,75
39	87,9	91,7	90,7	89,1	88,8	91,9	92,6	90,3	92,1	93	90,81

6. Produk filter NWA

Berikut ini merupakan daftar rekap waktu aktivitas yang dilakukan pada produk filter NWA.

Tabel 4.15

Data Waktu Aktivitas Cek Laboratorium Produk Filter NWA

No. Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	20,12	22,95	25,31	24,8	21,12	24,76	21,53	22,7	23,7	20,78	22,77 7
2	23,23	24,55	23,59	23,34	22,29	24,31	25,4	25,61	25	24,22	24,15 4
3	45,8	49,64	53,43	48,65	54,53	51,86	49,43	46,76	47,86	57,56	50,55 2
4	48,5	49,3	47,6	51,4	48,9	46,1	56,2	53,6	45,6	49,2	49,64
5	54,4	49,5	47,4	53	55	49,1	47,9	53,7	52,3	52,5	51,48
6	50,8	57,6	63,8	59,6	50	63,6	55,9	47,4	60,4	47,9	55,7
7	18,8	17,8	17,7	16,9	16,9	15,5	18,6	18,5	19	16,5	17,62
8	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
9	36,70	41,50	39,50	39,70	40,70	38,50	42,90	40,20	37,60	42,00	39,93
10	127,35	128,45	131,3	130,3	128,85	129,65	130,1	129,05	128,25	128,95	129,2 3
11	41	41	45,9	46	51,6	43,3	41,9	46,5	46,9	44,4	44,85
12	47,35	45,3	48,95	47,7	48,4	43,15	48,35	47,55	46,25	46,75	46,98
13	84,7	83,75	90,25	88	87,25	82,8	88,45	86,6	84,5	85,7	86,2

No. Akt	Data ke-										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
14	37,9	43,4	45,2	41,5	44,2	44,2	44,4	42,7	47,7	43,9	43,51
15	154,75	155,8	154,25	154,7	155,5	154,65	155,25	155,75	155,2	154,45	155,03
16	4,7	5,1	4,6	4,9	5,9	5,2	6,3	5,2	4,7	5,3	5,19
17	70,5	68,4	69,5	73,4	72,1	70,6	69,6	70,4	71,3	69,3	70,51
18	4,2	5,4	6,4	5,3	4,2	4,2	5,6	3,9	4,6	5,1	4,89
19	92,25	91,6	85,95	90,9	87,6	94,35	93,75	93,05	95,6	93,75	91,88
20	9,8	10,1	9,7	8,9	9,1	10	8,8	9,6	10,5	9,7	9,62
21	77,8	83,6	79,3	83,3	82,3	77,8	77,7	87,9	82,6	88	82,03
39	94,1	98,6	96,7	97,9	95,7	93,9	94,5	94,1	97,8	95,2	95,85

Dari data hasil rekap data dari 6 jenis produk tersebut dibuat rekap data gabungan waktu proses berdasarkan dengan rata-rata waktu aktivitas setiap model yang dibobot oleh masing-masing *production share*. Berikut ini merupakan hasil rekap data waktu gabungan dari gabungan 6 jenis produk.

Tabel 4.16
Rekap Data Waktu Aktivitas Cek Laboratorium Semua Produk Filter

No. Akt	Menthol	ROA	CPA/CPS	Cavitek	Dual Shape	NWA	Rata- Rata
1	22,67	22,65	22,70	22,69	22,57	22,78	22,67
2	24,08	24,26	24,64	24,54	24,42	24,15	24,35
3	49,18	51,28	51,86	51,15	49,98	50,55	50,65
4	50,08	50,75	50,05	50,05	50,40	49,64	50,16
5	49,33	54,31	52,56	52,21	53,02	51,48	52,22
6	55,57	58,90	57,62	66,88	54,96	55,70	58,10
7	18,28	20,46	22,05	18,50	20,86	17,02	19,56
8	120	120	120	120	120	120	120
9	35,98	30,83	32,46	30,82	42,29	39,93	35,85
10	129,82	129,87	124,79	129,92	129,84	129,23	128,93
11	45,64	47,58	48,60	48,77	46,17	44,85	46,87
12	49,95	46,66	49,50	47,93	49,07	46,98	48,34
13	89,77	86,52	84,29	87,85	88,91	86,20	87,27
14	45,08	46,74	46,22	42,32	42,53	43,51	44,25
15	155,36	155,17	155,00	154,87	154,95	155,03	155,05
16	6,35	6,16	6,54	6,08	6	5,19	6,03
17	70,32	71,22	70,24	71,36	70,55	70,51	70,69
18	5,66	6,30	6,16	6,51	6,36	4,89	5,98
19	92,03	91,08	91,12	90,32	90,03	91,88	91,02
20	11,55	10,08	10,82	11,56	11,34	9,62	10,82
21	86,61	82,18	91,61	82,84	79,03	82,03	83,73
22	30,39	0	34,32	0	26,59	0	15,33
23	31,86	0	34,12	0	36,50	0	17,58
24	78,71	0	79,39	0	79,75	0	40,47
25	54,45	0	0	0	0	0	7,62
26	0	121,41	0	120,80	0	0	37,54
27	0	41,92	0	41,78	0	0	12,97
28	0	41,85	0	44,26	0	0	13,36
29	0	40,85	0	40,07	0	0	12,54
30	0	40,31	0	38,57	0	0	12,22
31	0	13,20	0	13,33	0	0	4,11
32	0	25,66	0	26,19	0	0	8,04
33	0	62,27	0	60,50	0	0	19,02

No. Akt	Menthol	ROA	CPA/CPS	Cavitek	Dual Shape	NWA	Rata- Rata
34	0	90	0	90	0	0	27,90
35	0	71,98	0	69,77	0	0	21,96
36	0	120,22	0	121	0	0	37,39
37	0	36,24	0	37,77	0	0	11,48
38	152,20	0	153,69	0	160,75	0	79,66
39	91,88	94,11	93,86	95,01	90,81	95,85	93,52

4.3 Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data waktu aktivitas yang telah disajikan pada sub bab sebelumnya. Pengolahan data berupa perhitungan pada kondisi aktual, perhitungan dengan metode *ranked positional weight* (RPW), dan optimasi menggunakan metode *simulated annealing* dengan MATLAB.

4.3.1 Kondisi Aktual

Pada kondisi aktual, memiliki 5 stasiun kerja dengan masing-masing memiliki 1 operator dan satuan waktu stasiun adalah satuan detik. Berikut ini adalah perhitungan waktu aktivitas berdasarkan data waktu dari pengamatan langsung yang telah dilakukan yang ada pada Tabel 4.16 dan pembagian aktivitas di setiap stasiun kerja pada kondisi aktual.

Tabel 4.17

Pembagian Aktivitas Dalam Setiap Stasiun Kerja pada Kondisi Aktual

Stasiun Kerja	No. Akt	Aktivitas	Waktu Stasiun
Stasiun Kerja 1	1	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	458,77
	2	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	
	3	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	
	6	Proses menimbang sampel dan menentukan 2 sampel yang mendekati rata-rata	
	7	Memotong 2 batang menjadi masing-masing 5 bagian untuk di campur dengan methanol pada tabung	
	8	Proses <i>shake</i> pada mesin <i>shaker</i>	
	9	Tes PZ dengan mengambil 1 ml dari hasil shake dan dimasukkan pada mesin GC	
	10	Proses cek hasil GC	
Stasiun Kerja 2	4	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	302,17
	5	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	
	14	Memasang 10 sampel pada mesin PD	
	15	Proses cek hasil tes dan menyesuaikan dengan spesifikasi	
Stasiun Kerja 3	11	Proses mengukur berat basah, kering, dan basah I 10 sampel	355,63
	12	Menghitung PZ <i>Content</i> , <i>Tow weight</i> , <i>Carbon content</i> dengan rumus	
	13	Memasukkan data	
	16	Atur <i>supply compressed air</i> 4 bar mesin QTM dan menetapkan parameter pengukuran yang dikehendaki	
	17	Proses pengovenan 10 batang filter pada 110° C pada mesin QTM	

Stasiun Kerja	No. Akt	Aktivitas	Waktu Stasiun
	18	Memasukkan hasil 10 sampel pada mesin <i>hardness</i>	
	19	Mengambil hasil cek PD dan Hardness untuk dimasukkan hasilnya	
Stasiun Kerja 4	20	Memotong 10 sampel filter menjadi 2 bagian	247,89
	21	<i>Pull out test</i> pada tiap potongan dengan mesin LLOYD dan memasukkan data	
	22	Memotong 10 batang masing-masing menjadi 2 bagian	
	23	Memasukkan masing-masing potongan pada mesin Phasor	
	24	Mencari center batang melalui layar komputer dan memasukkan data	
	25	Menghitung purity 10 sampel filter dan kesesuaiannya dengan menggunakan rumus	
	26	Pengukuran panjang <i>cavity</i> 5 sampel filter yang berisi karbon	
	27	Mengupas <i>cavity</i> (A, B, C, D) sehingga tak ada karbon tersisa	
	28	Menimbang kandungan carbon per <i>cavity</i>	
	29	Menghitung rata-rata karbon dari ke empat <i>cavity</i>	
	30	Menghitung rata-rata karbon dari ke lima batang filter	
Stasiun Kerja 5	31	Tempatkan karbon dari sampel dalam labu erlenmeyer 250 ml (pastikan semua karbon masuk dalam labu)	271,88
	32	Menambahkan kira-kira 100 ml acetone dan kocok sampai acetate larut	
	33	Menyaring hasil dengan gelas saring yang dilapisi dengan no.1 Whatman filter paper dan sudah ditimbang sebelumnya (W1)	
	34	Memasukkan ke dalam oven dengan temperature 105 C	
	35	Mendinginkan dalam desikator, lalu timbang kembali dengan akurasi 0,1 mg (W2)	
	36	Menghitung kadar karbon dengan rumus	
	37	Memasukkan data pada sheet yang tersedia dan MES	
	38	Mengecek lubang pada batang filter (spesifikasi jumlah, diameter, <i>ovality</i>) dan memasukkan data	
	39	<i>Final Inspection</i> data	

Dengan menggunakan data waktu dari pengamatan langsung yang telah dilakukan dan menyesuaikan dengan data permintaan konsumen saat pengambilan data di bulan September 2016 seperti terlihat pada Tabel 4.18 ($\sum_{m=1}^M Dm = 97$), maka didapatkan hasil perhitungan *cycle time* seperti pada rumus (2-1), BWS pada rumus (2-5), dan BS pada rumus (2-6) sebagai berikut.

$$C = \frac{P}{\sum_{m=1}^M Dm} = \frac{28800}{97} = 296,907 \text{ sec}$$

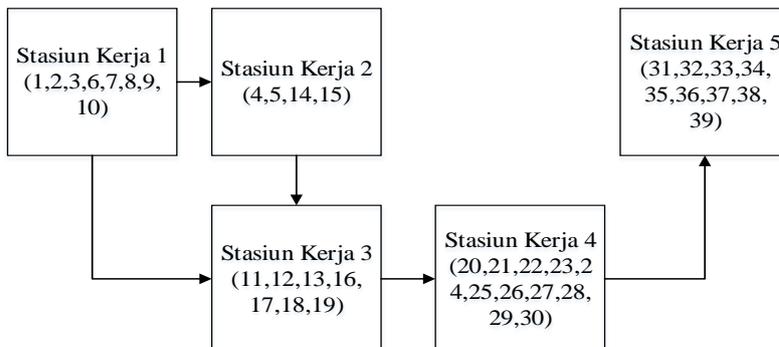
$$\begin{aligned}
 BWS &= \left(\frac{s'}{s'-1} \sum_{m=1}^M q_m \sum_{k=1}^{s'} \left(\frac{s_{km}}{\sum_{l=1}^M s_{lm}} - \frac{1}{s'} \right)^2 \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{5}{5-1} \left(\left(0,21 \left(\left(\frac{-32,71}{-176,63} - \frac{1}{5} \right)^2 + \left(\frac{-0,6}{-176,63} - \frac{1}{5} \right)^2 + \left(\frac{-12,94}{-176,63} - \frac{1}{5} \right)^2 + \left(\frac{0,68}{-176,63} - \frac{1}{5} \right)^2 + \left(\frac{10,89}{-176,63} - \frac{1}{5} \right)^2 \right) \right) + \left(0,22 \left(\left(\frac{-34,92}{-176,63} - \frac{1}{5} \right)^2 + \left(\frac{-2,17}{-176,63} - \frac{1}{5} \right)^2 + \right. \right. \right.
 \end{aligned}$$

$$\left(\frac{-12,68}{-176,63} - \frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{-17,68}{-176,63} - \frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{-46,93}{-176,63} - \frac{1}{5}\right)^2 + \dots \left(0,23 \left(\left(\frac{-38,51}{-176,63} - \frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{-0,65}{-176,63} - \frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{-12,71}{-176,63} - \frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{48,67}{-176,63} - \frac{1}{5}\right)^2 + \left(\frac{47,67}{-176,63} - \frac{1}{5}\right)^2\right)\right) x 100\% = 17,813\%$$

$$BS = \left(\frac{M}{S'(M-1)} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{S'} \left(\frac{q_m \cdot s_{km}}{S_k} - \frac{1}{M}\right)^2\right) x 100\%$$

$$= \left(\frac{6}{5(6-1)} \left(\left(\left(\frac{0,21x(-32,71)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,21x(-0,6)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,21x(-12,94)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,21x(0,68)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,21x(10,89)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2\right) + \left(\left(\frac{0,22x(-34,92)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,22x(-2,17)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,21x(-12,68)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,21x(-17,68)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,21x(-46,93)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2\right) + \dots \left(\left(\frac{0,23x(-38,51)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,23x(-0,65)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,23x(-12,71)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,23x(48,67)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,23x(47,67)}{-28,31} - \frac{1}{6}\right)^2\right)\right) x 100\% = 31,37\%$$

Hasil perhitungan ini digunakan sebagai perbandingan pada sub bab berikutnya untuk mengetahui besar perubahan yang diberikan metode *ranked positional weight* (RPW) dan *simulated annealing* dalam penelitian ini.



Gambar 4.6 Stasiun kerja kondisi aktual

4.3.2 Metode Heuristik

Pada sub bab ini adalah penjelasan mengenai langkah-langkah pengolahan data dengan metode heuristik keseimbangan lintasan dengan metode *ranked positional weight*.

4.3.2.1 Perhitungan *Cycle Time*

Pada penelitian ini, perhitungan *cycle time* dibutuhkan sebagai masukan di perhitungan heuristik. Data yang dibutuhkan adalah waktu produksi (P) dan jumlah permintaan produksi (D_m). Selain itu dari perhitungan tersebut kemudian akan dihitung jumlah proporsi pengerjaan tiap model yang akan dikerjakan, disebut juga dengan *production share* (q_m). Jumlah permintaan produksi berasal data permintaan perusahaan yang lalu pada Lampiran 1 dan waktu produksi ada jam kerja selama 1 *shift* yaitu 8 jam. Berikut ini merupakan rumus yang digunakan seperti pada rumus *cycle time* (2-1) dan rumus *production share* (2-2).

$$C = \frac{P}{\sum_{m=1}^M D_m}$$

Sumber: Vilarinho et al (2002)

Dimana:

C = Waktu siklus

P = Waktu produksi

m,.. M = Jenis produk

D_m = Hasil produksi setiap produk m

$$q_m = D_m / \sum_{m=1}^M D_m$$

Sumber: Mendes et al (2005)

Dimana:

q_m = *Production share* setiap produk m

Dari rumus diatas maka dapat dihasilkan *cycle time* dalam satuan *second*, dengan *time unit* didapatkan dari waktu kerja satu *shift* (8 jam) dan diubah dalam satuan *second* (1 jam = 3600 sec), serta hasil produksi didapatkan dari jumlah *tray* yang dihasilkan setiap satu *shift* dalam satu hari, sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.18 berdasarkan Lampiran 1. Pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19 dapat dilihat bahwa dari hasil data produksi dipilih jumlah produksi terbanyak, dikarenakan hal ini berbanding lurus dengan aktivitas kerja yang tinggi dan diharapkan agar hasil yang diberikan nantinya dapat mengatasi kondisi jumlah produksi yang rendah maupun tinggi, lalu kemudian dihitung *cycle time* yang diperlukan untuk *ranked positional weight* (RPW).

Tabel 4.18
Data Hasil Produksi

Produk	Jumlah Produksi Tahun Juli 2016- Juni 2017 (<i>tray/ shift/hari</i>)											
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
Menthol	23	25	20	18	24	31	18	24	23	22	20	30
Dual Shape	21	23	16	22	24	23	12	19	18	22	29	18
ROA	27	26	21	24	20	24	17	26	29	17	21	19

Produk	Jumlah Produksi Tahun Juli 2016- Juni 2017 (<i>tray/ shift/hari</i>)											
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
Cavitek	1	1	1	1	0	1	1	1	11	14	23	22
CPA/CPS	20	17	16	21	7	12	7	10	12	10	23	5
NWA	16	19	23	26	22	25	23	17	21	22	25	14
Total Produksi (D_p)	108	111	97	112	97	116	78	97	114	107	141	108

Pada Tabel 4.19 menjelaskan bahwa untuk metode ini memilih jumlah produksi pada bulan Mei, perhitungan *production share*, *cycle time*, dan total produksi. Berikut merupakan contoh perhitungan *production share* untuk produk menthol (rumus (2-2)).

$$q_m = D_m / \sum_{m=1}^M D_m = \frac{20}{141} = 0,14$$

Tabel 4.19
Perhitungan *Production Share* dan *Cycle Time*

Produk	D_m Bulan Mei 2017	q_m	<i>Time unit</i> (sec)	<i>Cycle Time</i> (sec)
Menthol	20	0.14	28800	204.26
ROA	21	0.15		
CPA/CPS	23	0.16		
Cavitek	23	0.16		
Dual Shape	29	0.21		
NWA	25	0.18		
Total Produksi ($\sum_{m=1}^M D_m$)	141			

4.3.2.2 Perhitungan *Initial Solution* dengan Menggunakan *Ranked Positional Weight* (RPW)

Perhitungan nilai *initial solution* sebelum dimasukkan ke dalam metode heuristik, didapatkan dengan menggunakan *ranked positional weight*. Berikut merupakan langkah-langkah dari *ranked positional weight*.

1. Lakukan penghitungan bobot posisi untuk setiap aktivitas. Bobot posisi setiap aktivitas dihitung dari bobot suatu aktivitas ditambah dengan bobot aktivitas - aktivitas setelahnya.
2. Lakukan pengurutan aktivitas-aktivitas berdasarkan bobot posisi, yaitu dari bobot posisi besar ke bobot posisi kecil.
3. Tempatkan aktivitas dengan bobot terbesar ke sebuah stasiun kerja sepanjang tidak melanggar *precedence* dan waktu stasiun kerja tidak melebihi waktu siklus.
4. Lakukan langkah 3 hingga semua aktivitas telah ditempatkan kepada suatu stasiun kerja.

5. Hanya stasiun kerja yang memiliki aktivitas dengan waktu lebih besar daripada *cycle time* yang dapat direplikasi ($MRT = C$) dan jumlah maksimum replikasi stasiun kerja adalah 2 ($MAXP = 2$).

Berikut ini merupakan hasil rekap RPW untuk setiap aktivitas yang akan dikerjakan.

Tabel 4.20
Perhitungan *Ranked Positional Weight*

No. Akt	Waktu Rata-Rata	Proses Terkait	Predecessor	Bobot RPW
1	22,67	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	-	1685,28
2	24,35	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	1	1662,60
3	50,65	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	2	1638,25
4	50,16	5, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	3	1042,66
5	52,22	14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	4	992,50
6	58,10	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	3	1112,21
7	19,56	8, 9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	6	1054,10
8	120,00	9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	7	1034,54
9	35,85	10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	8	914,54
10	128,93	11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	9	878,69
11	46,87	12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	10	749,75
12	48,34	13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	11	702,88
13	87,27	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	12	654,54
14	44,25	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	5	940,28
15	155,05	16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	14	896,03
16	6,03	17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	15	740,98
17	70,69	18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	16	734,96
18	5,98	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	17	664,26
19	91,02	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	18	658,28
20	10,82	21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	13, 19	567,27
21	83,73	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	20	556,44
22	15,33	23, 24, 25, 38, 39	21	254,18
23	17,58	24, 25, 38, 39	22	238,85
24	40,47	25, 38, 39	23	221,27
25	7,62	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	24	180,80
26	37,54	27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	21	312,05
27	12,97	28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	26	274,52
28	13,36	29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	27	261,54

No. Akt	Waktu Rata-Rata	Proses Terkait	Predecessor	Bobot RPW
29	12,54	30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	28	248,18
30	12,22	31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	29	235,64
31	4,11	32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	30	223,43
32	8,04	33, 34, 35, 36, 37, 39	31	219,31
33	19,02	34, 35, 36, 37, 39	32	211,27
34	27,9	35, 36, 37, 39	33	192,25
35	21,96	36, 37, 39	34	164,35
36	37,39	37, 39	35	142,39
37	11,48	39	36	105,00
38	79,66	39	25	173,18
39	93,52		37, 38	93,52

Dari hasil perhitungan *ranked positional weight* (RPW) kemudian dilanjutkan dengan mengurutkan nilai RPW dari yang terbesar hingga terkecil.

Tabel 4.21

Perhitungan *Ranked Positional Weight* yang Telah Diurutkan

No. Akt	Waktu Rata-Rata	Proses Terkait	Predecessor	Bobot RPW
1	22,67	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	-	1685,28
2	24,35	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	1	1662,60
3	50,65	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	2	1638,25
6	58,10	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	3	1112,21
7	19,56	8, 9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	6	1054,10
4	50,16	5, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	3	1042,66
8	120,00	9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	7	1034,54
5	52,22	14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	4	992,50
14	44,25	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	5	940,28
9	35,85	10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	8	914,54
15	155,05	16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	14	896,03
10	128,93	11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	9	878,69
11	46,87	12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	10	749,75
16	6,03	17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	15	740,98
17	70,69	18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	16	734,96
12	48,34	13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	11	702,88
18	5,98	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	17	664,26
19	91,02	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	18	658,28

No. Akt	Waktu Rata-Rata	Proses Terkait	Predecessor	Bobot RPW
13	87,27	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	12	654,5399
20	10,82	21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	13, 19	567,27
21	83,73	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	20	556,44
26	37,54	27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	21	312,05
27	12,97	28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	26	274,52
28	13,36	29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	27	261,54
22	15,33	23, 24, 25, 38, 39	21	254,18
29	12,54	30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	28	248,18
23	17,58	24, 25, 38, 39	22	238,85
30	12,22	31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	29	235,64
31	4,11	32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	30	223,43
24	40,47	25, 38, 39	23	221,27
32	8,0394	33, 34, 35, 36, 37, 39	31	219,31
33	19,02	34, 35, 36, 37, 39	32	211,27
34	27,90	35, 36, 37, 39	33	192,25
25	7,623	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	24	180,8009
38	79,66	39	25	173,18
35	21,96	36, 37, 39	34	164,35
36	37,393	37, 39	35	142,39
37	11,48	39	36	105,00
39	93,52		37, 38	93,52

Setelah diurutkan maka dilanjutkan dengan mengelompokkan aktivitas sesuai dengan urutan bobot RPW dengan memperhatikan beberapa hal sebagai berikut.

1. Aktivitas-aktivitas yang berkaitan dalam satu proses cek laboratorium seperti dijelaskan pada Tabel 4.2 sebisa mungkin dikelompokkan dalam satu stasiun kerja dan *predecessor* aktivitas terkait.
2. Konstrains zoning, dimana beberapa aktivitas tidak dapat ada dalam satu stasiun kerja, yaitu:
 - a. Aktivitas 6-10 dan aktivitas 14-15 tidak dapat satu stasiun kerja dengan aktivitas 11-13.
 - b. Aktivitas 14-15 tidak dapat ada dalam satu stasiun kerja dengan aktivitas 26-30.
 - c. Aktivitas 26-30 tidak dapat ada dalam satu stasiun kerja dengan aktivitas 31-37.
3. Batasan pengelompokkan setiap stasiun kerja tidak boleh melebihi dari *cycle time* yang telah diperhitungkan sebelumnya.

Berikut ini merupakan hasil dari pengelompokkan perhitungan stasiun kerja tersebut.

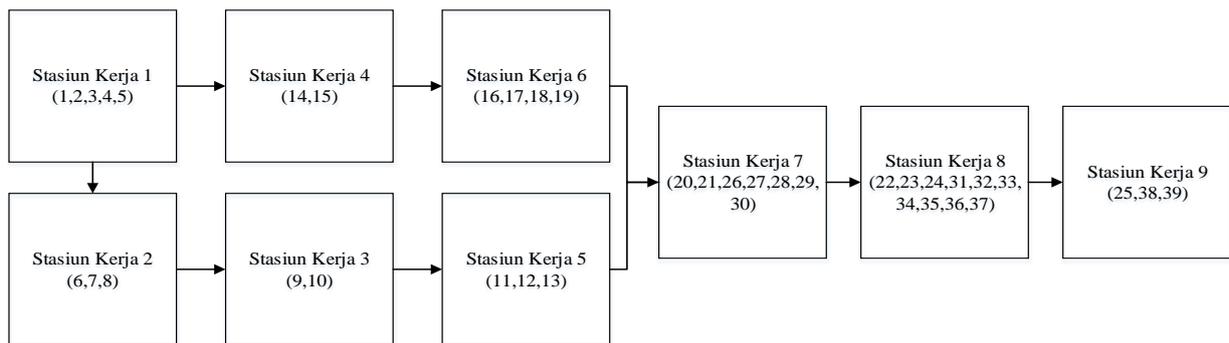
Tabel 4.22
Perhitungan Stasiun Kerja

No. Akt	Waktu Rata-Rata	Proses Terkait	Predecessor	Waktu Stasiun
1	22,67	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	-	200,06

No. Akt	Waktu Rata-Rata	Proses Terkait	Predecessor	Waktu Stasiun
2	24,35	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	1	
3	50,65	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	2	
4	50,16	5, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	3	
5	52,22	14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	4	
6	58,10	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	3	
7	19,56	8, 9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	6	197,66
8	120,00	9, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	7	164,79
9	35,85	10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	8	
10	128,93	11, 12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	9	
14	44,25	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	5	199,30
15	155,05	16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	14	
11	46,87	12, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	10	182,49
12	48,34	13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	11	
13	87,27	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	12	
16	6,03	17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	15	173,72
17	70,69	18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	16	
18	5,98	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	17	
19	91,02	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	18	
20	10,82	21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	13, 19	183,18
21	83,73	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39	20	
26	37,54	27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	21	
27	12,97	28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	26	
28	13,36	29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	27	
29	12,54	30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	28	
30	12,22	31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	29	
22	15,33	23, 24, 25, 38, 39	21	203,29
23	17,58	24, 25, 38, 39	22	
24	40,47	25, 38, 39	23	
31	4,11	32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	30	
32	8,0394	33, 34, 35, 36, 37, 39	31	
33	19,02	34, 35, 36, 37, 39	32	
34	27,90	35, 36, 37, 39	33	
35	21,96	36, 37, 39	34	
36	37,393	37, 39	35	
37	11,48	39	36	
25	7,623	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	24	180,80
38	79,66	39	25	

No. Akt	Waktu Rata-Rata	Proses Terkait	Predecessor	Waktu Stasiun
39	93,52		37, 38	

Pada Tabel 4.22 adalah tabel untuk menghitung pengelompokan stasiun kerja, dimana waktu setiap stasiun kerja tidak boleh melebihi *cycle time* yaitu sebesar 204,26 satuan waktu, sehingga didapatkan 9 stasiun kerja. Berikut ini merupakan gambaran rancangan stasiun kerja dari hasil RPW dengan menyesuaikan *precedence*, susunan aktivitas, dan mesin yang diperlukan dalam aktivitas dalam stasiun kerja serta perhitungan BS dan BWS hasil metode *ranked positional weight*.



Gambar 4.7 Ilustrasi stasiun kerja dari hasil RPW

$$BWS = \left(\frac{S'}{S'-1} \sum_{m=1}^M q_m \sum_{k=1}^{S'} \left(\frac{S_{km}}{\sum_{l=1}^M S_{lm}} - \frac{1}{S'} \right)^2 \right) \times 100\% = 19,539\%$$

$$BS = \left(\frac{M}{S'(M-1)} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{S'} \left(\frac{q_m \cdot S_{km}}{S_k} - \frac{1}{M} \right)^2 \right) \times 100\% = 14,761\%$$

4.3.3 Simulated Annealing

Setelah mendapatkan *initial solution* menggunakan metode *ranked positional weight* kemudian dilanjutkan dengan memasukkan nilai solusi awal tersebut ke dalam perhitungan metode *simulated annealing* yang menggunakan *software* MATLAB, dimana akan terbagi menjadi dua tahap perhitungan, yaitu tahap pertama memiliki tujuan untuk meminimasi jumlah stasiun kerja pada satu lintasan dan pada tahap kedua memiliki tujuan untuk menyeimbangkan beban kerja antar stasiun kerja dan juga dalam stasiun kerja yang sama.

Untuk memulai tahap pertama, diperlukan nilai *initial solution* yang didapatkan dengan menggunakan salah satu metode heuristik, yaitu *ranked positional weight* (RPW). Metode RPW dipilih pada penelitian ini dikarenakan metode RPW dapat menghasilkan nilai *idle time* dan *balance delay* yang kecil dengan penugasan aktivitas lebih efisien dan performansi tinggi dibandingkan dengan metode yang lainnya (Perwitasari, 2005:8). Kemudian untuk nilai *neighbouring solution* didapatkan dengan dua cara, yaitu yang

pertama menukar pekerjaan dari stasiun kerja yang berbeda dan yang kedua dengan memindahkan aktivitas ke stasiun lainnya. Penentuan pekerjaan yang akan ditukar dipilih secara acak. Dari setiap hasil pertukaran dan pemindahan aktivitas kemudian dicek apakah memenuhi syarat konstrain, *precedence diagram* yang telah dibuat sebelumnya dan jumlah *cycle time* untuk setiap stasiun kerja yang ada. Pada metode *simulated annealing*, diperlukan beberapa parameter kontrol yang harus ditentukan terlebih dahulu, yang adalah sebagai berikut.

1. Pemilihan beberapa parameter kontrol utama yang telah ditentukan, yaitu:
 - a. Nilai titik awal iterasi sebagai temperatur awal (T_0) dipilih pada tingkat 100 yang disesuaikan.
 - b. Pemilihan nilai penurunan iterasi sebagai faktor pereduksi temperatur (Cr) sebesar 0,9.
 - c. Jumlah iterasi pada setiap tingkat iterasi sebanyak 39 kali sesuai dengan rumus KN, dimana K adalah 1 dan N adalah jumlah aktivitas yang ada pada penelitian.
 - d. Titik henti iterasi sebagai temperatur henti dipilih pada 10.

Ditentukannya keempat parameter tersebut dinilai sebagai ukuran yang tepat karena setelah dicoba hasil menunjukkan bahwa pada tahap pertama untuk 5 kali iterasi terakhir hanya 7% hasil yang diterima, sedangkan untuk tahap kedua pada 5 kali iterasi terakhir tidak ada hasil yang diterima lagi sebagaimana ditunjukkan pada Lampiran 3.

2. MAXP sebagai jumlah maksimum replika yang dibolehkan pada stasiun kerja sebanyak 2.

Untuk memenuhi tujuan pada tahap pertama, yaitu meminimasi jumlah stasiun kerja, maka diperlukan perhitungan *Balance Delay Time* (BDT) seperti pada rumus (2-4) sebagai berikut.

$$BDT = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K q_m (SP_k \cdot C - \sum_{i \in O_k} t_{im})$$

Sumber: Vilarinho et al (2002)

Dimana:

q_m = *Production share*

SP_k = Jumlah replikasi dari stasiun k

C = *Cycle time*

t_{im} = Waktu aktivitas produk

O_k = Aktivitas-aktivitas yang dikerjakan stasiun k

K = Stasiun kerja

M = Produk

Pada tahap pertama, karena tujuan utamanya adalah meminimasi jumlah stasiun kerja maka pemindahan aktivitas memiliki peranan besar daripada penukaran aktivitas. Namun penukaran aktivitas tidak dipungkiri juga berperan dalam mencari solusi baru. Sehingga digunakan probabilitas untuk menemukan solusi baru menggunakan pemindahan aktivitas sebesar 75% dan sisanya menggunakan penukaran aktivitas. Kegiatan penukaran maupun pemindahan tugas dapat dilakukan jika memenuhi beberapa persyaratan konstrain yang sudah ditetapkan, yaitu:

1. Bukan aktivitas yang ada dalam daftar *taboo list* (aktivitas 1, 2, 3, dan 39).
2. Sesuai dengan *precedence*, yaitu tidak ada *successor* yang mendahului aktivitas yang ditukar atau dipindah.
3. Sesuai dengan kapasitas, dimana batasannya ditentukan dengan besar *cycle time*.
4. Konstrain zoning, dimana beberapa aktivitas tidak dapat ada dalam satu stasiun kerja, yaitu:
 - d. Aktivitas 6-10 dan aktivitas 14-15 tidak dapat satu stasiun kerja dengan aktivitas 11-13.
 - e. Aktivitas 14-15 tidak dapat ada dalam satu stasiun kerja dengan aktivitas 26-30.
 - f. Aktivitas 26-30 tidak dapat ada dalam satu stasiun kerja dengan aktivitas 31-37.

Setelah dilakukan penukaran atau pemindahan aktivitas titik solusi baru (BDT baru) di evaluasi dan jika solusi baru lebih kecil dari nilai awal (BDT), maka hasil diterima. Namun jika sebaliknya, solusi dapat diterima dengan menggunakan rumus seperti pada rumus (2-9) dan rumus (2-10) sebagai berikut.

$$P = \exp(-\Delta / kT) > r$$

Sumber: Santosa et al (2011)

Dimana:

$$\Delta = \frac{BDT_{baru} - BDT}{BDT_{baru}} \times 100$$

Sumber: Vilarinho et al (2002)

k = Konstanta Boltzman dengan nilai 1

T = Temperatur pada saat iterasi

r = Angka random bernilai antara 0 hingga 1

Dalam penelitian ini, tahap *simulated annealing* dilakukan dengan *software* MATLAB 2016a dengan waktu komputasi yang diperlukan adalah 6 detik dan spesifikasi *hardware* yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Windows 10 dengan prosesor Intel ® Core™ i3-5005U CPU @ 2.00Ghz,

2. RAM sebesar 4 GB.
3. Tipe system 64-bit *operating system*, x-64-based *processor*.
4. Monitor dengan resolusi 1366 x 768.

Sebelum menyusun koding pada *software* MATLAB 2016a, langkah-langkah dari metode *simulated annealing* ini disusun terlebih dahulu dalam sebuah *pseudocode*. Berikut merupakan *pseudocode* untuk langkah-langkah pada tahap pertama.

Algoritma: Pseudo Code Tahap 1

Input : T_0 , Cr, L, MAXP, precedence, tim, qm, C, Ok, K, M, SPk

Output : Kbaru, Okbaru, SPkbaru

%Initial Solution

Melakukan perhitungan waktu tiap stasiun kerja

Melakukan perhitungan *Balance Delay Time*

Melakukan perhitungan waktu *idle*

While temperature > 10 **do**

if rand < 0.25 **then**

 Melakukan *swap movement*

 Mengecek *taboo list*

 Mengecek *precedence*

 Mengecek konstrain zoning

 Mengecek waktu stasiun

Else

 Melakukan *Transfer Movement*

 Mengecek *taboo list*

 Mengecek *precedence*

 Mengecek konstrain zoning

 Mengecek waktu stasiun

End

Melakukan perhitungan waktu stasiun kerja baru

Melakukan perhitungan *Balance delay time* baru

Melakukan perhitungan waktu *idle* baru

if BDTbaru < BDT **then**

 Kbest = kbaru

 Okbest = Okbaru

 SPkbest = SPkbaru

Else

 diff = Δ

 bangkitkan bilangan random r

if r < $\exp(-\Delta/kT)$ **then** %kriteria Metropolis

 Kbest = Kbaru

 Okbest = Okbaru

 SPkbest = SPkbaru

End

End

Update temperatur = temperatur * cr

End

Setelah itu, untuk memenuhi tujuan pada tahap kedua, yaitu meminimasi nilai beban kerja pada stasiun kerja dan beban kerja antar stasiun kerja diperlukan perhitungan *Balance within Station* (BS) seperti pada rumus (2-6) dan *Balance between Station* (BWS) seperti pada rumus (2-5), dengan rumus sebagai berikut.

$$BWS = \left(\frac{S'}{S'-1} \sum_{m=1}^M q_m \sum_{k=1}^{S'} \left(\frac{S_{km}}{\sum_{l=1}^M S_{lm}} - \frac{1}{S'} \right)^2 \right) \times 100\%$$

Sumber: Mendes et al (2005)

$$BS = \left(\frac{M}{S'(M-1)} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{S'} \left(\frac{q_m \cdot S_{km}}{S_k} - \frac{1}{M} \right)^2 \right) \times 100\%$$

Sumber: Mendes et al (2005)

Dimana:

S' = jumlah stasiun kerja yang ada

S_{km} = waktu menunggu (*idle time*) dari stasiun kerja k dari model m

$$S_{lm} = \sum S_{km}$$

Sumber: Vilarinho et al (2002)

$$S_k = \sum_{m=1}^M q_m \cdot S_{km}$$

Sumber: Vilarinho et al (2002)

Pada tahap kedua karena tujuannya adalah untuk meminimasi beban kerja pada stasiun kerja dan antar stasiun kerja yang ada maka penukaran aktivitas yang memiliki peran terbesar dalam pencarian solusi terbaru. Sehingga digunakan probabilitas untuk menemukan solusi baru menggunakan penukaran aktivitas sebesar 75% dan sisanya menggunakan pemindahan aktivitas. Setelah menemukan titik solusi baru (BS dan BWS baru) jika solusi lebih kecil dari nilai awal (BS dan BWS), maka hasil diterima. Namun jika sebaliknya, solusi dapat diterima dengan menggunakan rumus seperti rumus (2-11), dengan rumus Δ sebagai berikut.

$$\Delta = \frac{(BS_{baru}-BS)+(BWS_{baru}-BWS)}{BS_{baru}+BWS_{baru}} \times 100$$

Sumber: Vilarinho et al (2002)

Berikut merupakan *pseudocode* untuk langkah-langkah pada tahap kedua.

Algoritma : Pseudo Code Tahap 2

Input : T_0 , Cr, L, MAXP, precedence, tim, qm, C, Ok, S', M, SPk

Output : S'baru, Okbaru, SPkbaru

%Initial Solution

Melakukan perhitungan waktu tiap stasiun kerja

Melakukan perhitungan BS dan BWS

Melakukan perhitungan waktu *idle*

While temperature > 10 **do**

if rand < 0.25 **then**

 Melakukan *transfer movement*

 Mengecek *taboo list*

 Mengecek *precedence*

 Mengecek konstrain zoning

 Mengecek waktu stasiun

Else

 Melakukan *swap Movement*

 Mengecek *taboo list*

 Mengecek *precedence*

 Mengecek konstrain zoning

 Mengecek waktu stasiun

End

Melakukan perhitungan waktu stasiun kerja baru

Melakukan perhitungan BS dan BWS baru

Melakukan perhitungan waktu *idle* baru

if BSbaru < BS **and** BWSbaru < BWS **then**

 S'best = S'baru

 Okbest = Okbaru

 SPkbest = SPkbaru

Else

 diff = Δ

 bangkitkan bilangan random r

if r < $\exp(-\Delta/kT)$ **then** %kriteria Metropolis

 S'best = S'baru

 Okbest = Okbaru

 SPkbest = SPkbaru

End

End

Update temperature = temperatur *cr

End

Berikut ini adalah contoh perhitungan pada tahap 1 dan 2.

Tabel 4.23

Contoh Perhitungan Metode *Simulated Annealing*

Contoh Perhitungan Tahap 1	Contoh Perhitungan Tahap 2
Pada titik awal iterasi 100.	Pada titik awal iterasi 100.
Menghitung waktu stasiun kerja.	Menghitung waktu stasiun kerja.
1. Stasiun Kerja 1: 200,06	1. Stasiun Kerja 1: 200,06
2. Stasiun Kerja 2: 197,66	2. Stasiun Kerja 2: 197,66
3. Stasiun Kerja 3: 164,79	3. Stasiun Kerja 3: 164,79
4. Stasiun Kerja 4: 199,30	4. Stasiun Kerja 4: 199,30

Contoh Perhitungan Tahap 1	Contoh Perhitungan Tahap 2
5. Stasiun Kerja 5: 182,49 6. Stasiun Kerja 6: 173,72 7. Stasiun Kerja 7: 183,18 8. Stasiun Kerja 8: 203,29 9. Stasiun Kerja 9: 180,80	5. Stasiun Kerja 5: 182,49 6. Stasiun Kerja 6: 173,72 7. Stasiun Kerja 7: 183,18 8. Stasiun Kerja 8: 203,29 9. Stasiun Kerja 9: 180,80
Menghitung BDT dengan rumus (2-4). $BDT = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K q_m (SP_k \cdot C - \sum_{i \in O_k} t_{im})$ $= ((0,14((1 \times 204,26) - (22,67 + 24,08 + 49,18 + 50,08 + 49,93))) + 0,14((1 \times 204,26) - (55,57 + 18,28 + 120))) + 0,14((1 \times 204,26) - (35,98 + 129,82)) + \dots (0,18((1 \times 204,26) - (0 + 0 + 95,85))) = 153,06 \text{ sec}$	Menghitung BS dan BWS dengan rumus (2-5) dan rumus (2-6) (contoh perhitungan pada halaman 56). Nilai BS = 19,539% Nilai BWS = 14,761%
Menghitung waktu <i>idle</i> dengan rumus (2-12) dan (2-17). $X: \Delta S_{ZX} = \max_m \left\{ \left S_{Zm} \cdot q_m - \frac{S_z}{M} \right \right\}$ $= \max_m \left\{ \left (204,26 - (22,67 + 24,08 + 49,18 + 50,08 + 49,93)) \times 0,14 - \left(\frac{4,2}{6} \right) \right , \dots \right\}$ $\left\{ \left (204,26 - (0 + 0 + 95,85)) \times 0,18 - \left(\frac{23,46}{6} \right) \right \right\}$ $= 0,55 \text{ (misal yang terpilih adalah deviasi waktu } idle \text{ stasiun kerja 1, produk 1)}$	Menghitung waktu <i>idle</i> dengan rumus (2-12) dan (2-17).
Keputusan <i>transfer</i> atau <i>swap movement</i> berdasarkan pemilihan waktu <i>idle</i> (rumus (2-12) dan rumus (2-17))	Keputusan <i>transfer</i> atau <i>swap movement</i> berdasarkan pemilihan waktu <i>idle</i> (rumus (2-12) dan rumus (2-17))
Setelah <i>swap/transfer movement</i> , menghitung waktu stasiun kerja, BDT, dan waktu <i>idle</i> terbaru	Setelah <i>swap/transfer movement</i> , menghitung waktu stasiun kerja, BDT, dan waktu <i>idle</i> terbaru
Keputusan menerima perubahan: 1. Jika BDT baru < BDT lama, maka diterima 2. Jika BDT baru > BDT lama, maka dihitung dengan rumus (2-10) $\Delta = \frac{BDT_{baru} - BDT}{BDT_{baru}} \times 100 = \frac{157,89 - 153,06}{157,89} \times 100 = 3,05$ $\exp(-\Delta/kT) = \exp(-3,05/(1 \times 100)) = 0,96$ Jika memenuhi $r < \exp(-\Delta/kT)$, maka jumlah stasiun kerja (Kbaru), pembagian aktivitas (Okbaru), dan jumlah replikasi masing-masing stasiun kerja (SPkbaru) diterima	Keputusan menerima perubahan: 1. Jika BS dan BWS baru < BS dan BWS lama, maka diterima 2. Jika BS dan BWS baru > BS dan BWS lama, maka dihitung dengan rumus (2-11) $\Delta = \frac{(BS_{baru} - BS) + (BWS_{baru} - BWS)}{BS_{baru} + BWS_{baru}} \times 100$ $= \frac{(0,2134 - 0,19539) + (0,1675 - 0,14761)}{0,2134 + 0,1675} \times 100 = 0,0379/0,3809 = 9,95$ $\exp(-\Delta/kT) = \exp(-9,95/(1 \times 100)) = 0,905$ Jika memenuhi $r < \exp(-\Delta/kT)$, maka jumlah stasiun kerja (S'baru), pembagian aktivitas (Okbaru), dan jumlah replikasi masing-masing stasiun kerja (SPkbaru) diterima
Update titik iterasi (temperatur) = $100 \times 0,9 = 99$	Update titik iterasi (temperatur) = $100 \times 0,9 = 99$
Kembali pada <i>while</i> , jika titik iterasi < 10,	Kembali pada <i>while</i> , jika titik iterasi < 10,

Contoh Perhitungan Tahap 1	Contoh Perhitungan Tahap 2
iterasi dilakukan. Jika tidak, stop	iterasi dilakukan. Jika tidak, stop

Dari *pseudocode* ini kemudian dibuat sebagai acuan penyusunan *coding* metode *simulated annealing* pada *software* MATLAB pada Lampiran 2, dimana hasil yang didapatkan di analisa pada sub bab selanjutnya. Berikut ini adalah data hasil replikasi perhitungan *simulated annealing* sejumlah 20 replikasi sebagaimana disarankan Brusco et al (2017:8).

Tabel 4.24

Data Replikasi Perhitungan *Simulated Annealing* dengan MATLAB

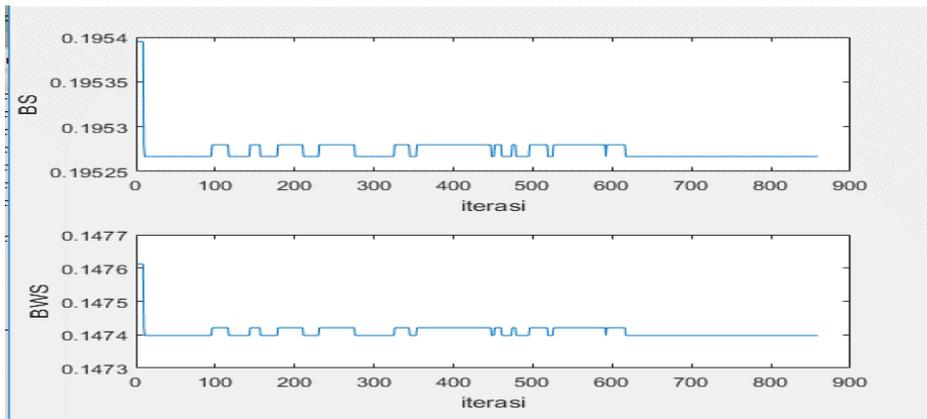
Replikasi ke-	Jumlah Stasiun Kerja	Nilai BS	Nilai BWS
1	9	19,526%	14,739%
2	9	19,527%	14,742%
3	9	19,526%	14,739%
4	9	19,526%	14,739%
5	9	19,491%	14,677%
6	9	19,527%	14,742%
7	9	19,527%	14,742%
8	9	19,527%	14,742%
9	9	19,526%	14,739%
10	9	19,526%	14,739%
11	9	19,526%	14,739%
12	9	19,491%	14,677%
13	9	19,526%	14,739%
14	9	19,527%	14,742%
15	9	19,527%	14,742%
16	9	19,526%	14,739%
17	9	19,527%	14,742%
18	9	19,526%	14,739%
19	9	19,527%	14,742%
20	9	19,527%	14,742%

Dari data replikasi, terdapat 3 hasil grafik dan data yang ditawarkan sebagai solusi. Berikut ini adalah solusi pertama yang dihasilkan perhitungan *simulated annealing* dengan menggunakan MATLAB.

Tabel 4.25

Solusi Pertama Perhitungan *Simulated Annealing* dengan MATLAB

Stasiun Kerja	No. Aktivitas	Replika	Waktu Stasiun Kerja (sec)
1	1,2,3,11, 12	1	192,896
2	6,7,8	1	197,663
3	9,10	1	164,789
4	14,15	1	199,298
5	4,5,13	1	189,645
6	16,17,18,19	1	173,717
7	20,21,26,27,28,29,30	1	183,177
8	22,23,24,31,32,33,34,35,36,37	1	203,289
9	25,38,39	1	180,801
K = 9; BS = 19,526%; BWS = 14,739%			



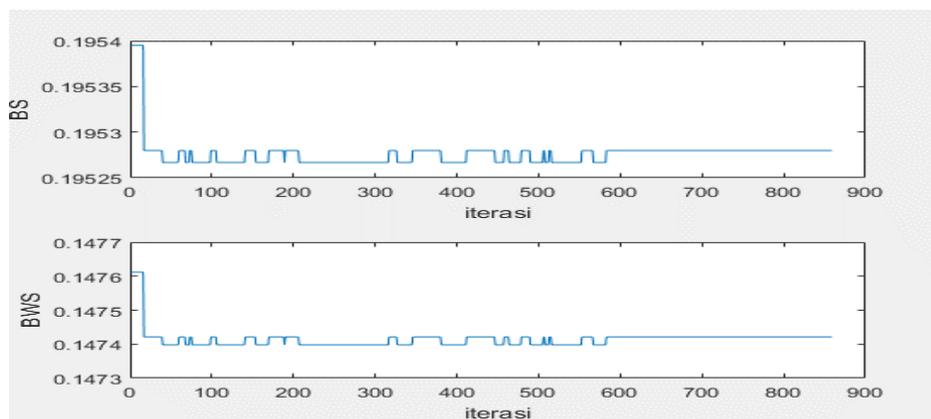
Gambar 4.8 Grafik BS dan BWS solusi pertama perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB

Berikut ini adalah grafik dan data dari solusi kedua yang dihasilkan perhitungan *simulated annealing* dengan menggunakan MATLAB.

Tabel 4.26

Solusi Kedua Perhitungan *Simulated Annealing* dengan MATLAB

Stasiun Kerja	No. Aktivitas	Replika	Waktu Stasiun Kerja (sec)
1	1,2,3,4,11	1	194,72
2	6,7,8	1	197,66
3	9,10	1	164,79
4	14,15	1	199,30
5	5,12,13	1	187,83
6	16,17,18,19	1	173,72
7	20,21,26,27,28,29,30	1	183,18
8	22,23,24,31,32,33,34,35,36,37	1	203,29
9	25,38,39	1	180,80
K = 9; BS = 19,527%; BWS = 14,742%			



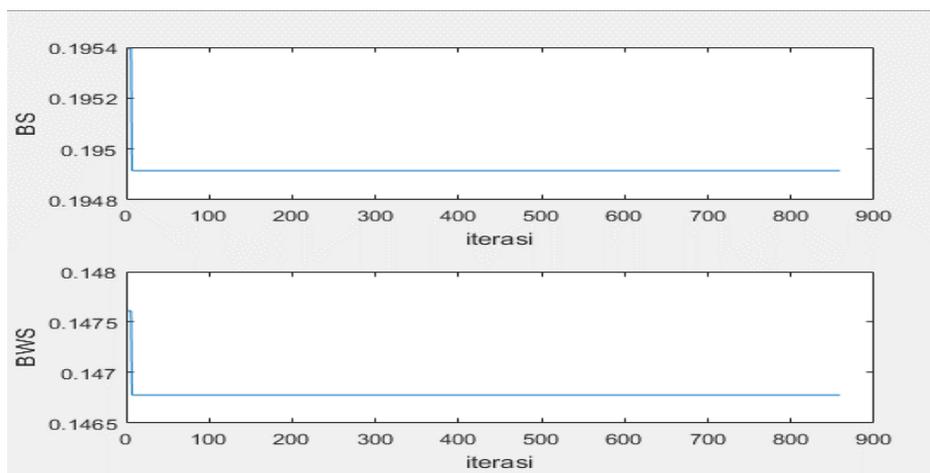
Gambar 4.9 Grafik BS dan BWS solusi kedua perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB

Berikut ini adalah grafik dan data dari solusi ketiga yang dihasilkan perhitungan *simulated annealing* dengan menggunakan MATLAB.

Tabel 4.27

Solusi Ketiga Perhitungan *Simulated Annealing* dengan MATLAB

Stasiun Kerja	No. Aktivitas	Replika	Waktu Stasiun Kerja (sec)
1	1,2,3,4,9	1	183,696
2	6,7,8	1	197,663
3	5,10	1	181,151
4	14,15	1	199,298
5	11,12,13	1	182,484
6	16,17,18,19	1	173,717
7	20,21,26,27,28,29,30	1	183,177
8	22,23,24,31,32,33,34,35,36,37	1	203,289
9	25,38,39	1	180,801
K = 9; BS = 19,491%; BWS = 14,677%			

Gambar 4.10 Grafik BS dan BWS solusi ketiga perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB

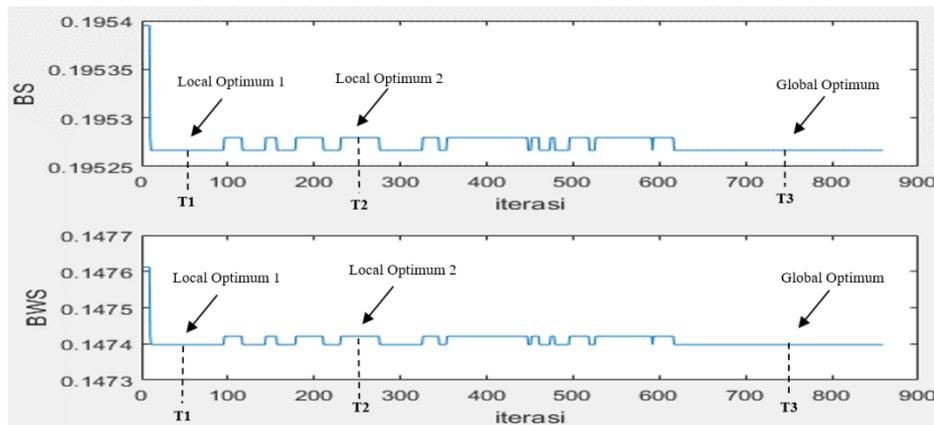
4.4 Analisa dan Pembahasan

Pada sub bab ini, akan dibahas analisa dari hasil akhir keseluruhan proses penelitian yaitu hasil perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB, dimana terdapat 3 solusi yang ditawarkan untuk kemudian dipilih yang terbaik. Selain itu, sub bab ini juga akan menganalisa perbandingan antara kondisi aktual yang ada di lapangan, dengan hasil dari kedua metode dalam penelitian ini, baik oleh *ranked positional weight* (RPW) maupun *simulated annealing*.

4.4.1 Hasil Akhir Penelitian

Berikut ini akan dibahas analisa dari hasil akhir keseluruhan proses penelitian yaitu hasil perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB, yaitu 3 solusi untuk kemudian dipilih yang terbaik.

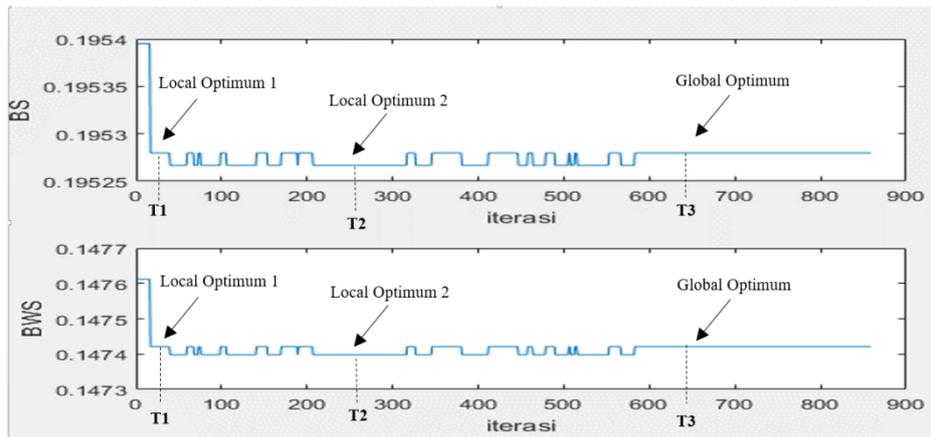
4.4.1.1 Hasil Grafik *Balance Within Station (BS)* dan *Balance Between Station (BWS)*



Gambar 4.11 Grafik BS dan BWS solusi pertama perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB

Dalam grafik solusi pertama, terlihat fluktuasi penurunan dan kenaikan nilai *balance within station* (BS) maupun *balance between station* (BWS) yang dianalogikan sebagai energi, dimulai dari titik awal. Pada titik awal setelah beberapa kali iterasi masih mengalami nilai energi (E) yang konstan sampai akhirnya mengalami penurunan energi menuju ke titik T1. Pada saat di titik T1, ada kecenderungan energi konstan kembali, tidak turun maupun naik. Tetapi kemudian seiring berjalannya iterasi terjadi beberapa kali fluktuasi dan dapat dilihat dari keseluruhan titik fluktuasi ini sering berada di tingkat titik T1 dan T2, sehingga kondisi pada titik T1 dapat dianalogikan sebagai titik lokal optimum 1, sedangkan pada saat titik T2 dapat dianalogikan sebagai lokal optimum 2. Fluktuasi ini terjadi karena adanya penerimaan dari rumus kriteria Metropolis yang memberikan kemungkinan bagi iterasi dengan nilai energi yang lebih tinggi dari sebelumnya untuk diterima dengan harapan pada iterasi selanjutnya dapat dicapai nilai energi yang lebih baik, sehingga sangat mungkin sekali ketika nilai energi sudah di titik yang rendah dapat kembali naik lagi dan sering terjadi di iterasi temperatur awal (Santosa et al., 2011:227).

Hal ini juga terjadi baik pada grafik *balance within station* (BS) maupun *balance between station* (BWS), dimana seiring nilai temperatur berubah, iterasi terus dilakukan untuk mendapatkan suatu kondisi dimana energi menurun dan sampai akhirnya suatu kondisi dimana nilai energi tidak lagi mengalami penurunan walaupun nilai temperatur terus berubah, atau dikatakan suatu global optimum (titik T3) sudah dicapai. Pada grafik ini, titik global optimum (T3) dan titik lokal optimum 1 memiliki satu garis nilai, sehingga dapat disimpulkan nilai global optimum sudah ditemukan saat titik lokal optimum 1, dimana titik ini merupakan titik terendah dari keseluruhan iterasi sehingga dapat dikatakan hasil dari iterasi ini sudah optimal.

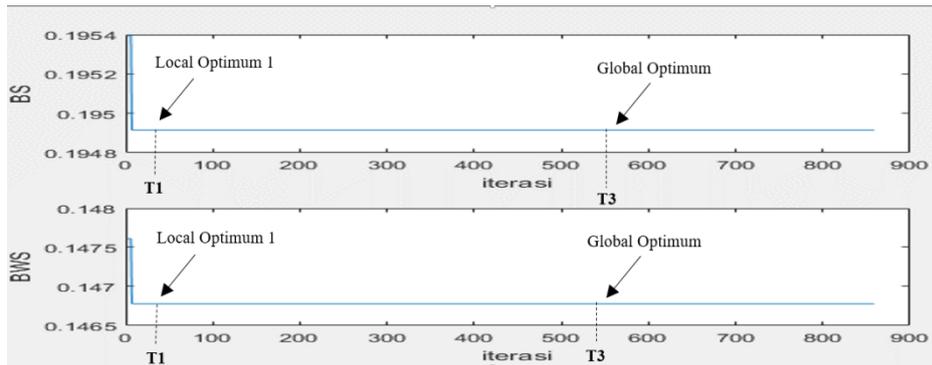


Gambar 4.12 Grafik BS dan BWS solusi kedua perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB

Dalam grafik solusi kedua, sama seperti pada grafik solusi pertama terlihat fluktuasi penurunan dan kenaikan energi, dimulai dari titik pertama. Pada titik pertama setelah beberapa kali iterasi masih mengalami nilai energi (E) yang konstan sampai akhirnya mengalami penurunan energi menuju ke titik T1. Pada saat di titik T1, ada kecenderungan energi konstan kembali, tidak turun maupun naik. Tetapi kemudian seiring berjalannya iterasi terjadi penurunan kembali (titik T2), setelah itu terjadi beberapa kali fluktuasi dan dapat dilihat dari keseluruhan titik fluktuasi ini sering berada di tingkat titik T1 dan T2, sehingga kondisi pada titik T1 dapat dianalogikan sebagai titik lokal optimum 1, sedangkan pada saat titik T2 dapat dianalogikan sebagai lokal optimum 2. Sama seperti grafik solusi pertama, fluktuasi ini terjadi karena adanya penerimaan dari rumus kriteria Metropolis yang memberikan kemungkinan bagi iterasi dengan nilai energi yang lebih tinggi dari sebelumnya untuk diterima, sehingga sangat mungkin sekali ketika nilai energi sudah di titik yang rendah dapat kembali naik lagi dan sering terjadi di iterasi temperatur awal (Santosa et al., 2011:227).

Sama seperti sebelumnya, baik grafik *balance within station* (BS) maupun *balance between station* (BWS) memiliki karakteristik sama, dimana seiring nilai temperatur berubah, iterasi terus dilakukan untuk mendapatkan suatu kondisi dimana energi menurun dan sampai akhirnya suatu kondisi dimana nilai energi tidak lagi mengalami penurunan walaupun nilai temperatur terus berubah, atau dikatakan suatu global optimum (titik T3) sudah dicapai. Pada grafik ini, titik global optimum (T3) dan titik lokal optimum 2 memiliki satu garis nilai, sehingga dapat disimpulkan nilai global optimum sudah ditemukan saat titik lokal optimum 2, namun titik ini bukanlah titik terendah dari keseluruhan iterasi ini sehingga dapat dikatakan hasil dari iterasi ini belum optimal. Hal ini dikarenakan banyak faktor, bisa karena nilai pereduksi temperatur terlalu besar, atau

jumlah iterasi yang tidak sesuai karena terlalu besar sehingga titik-titik yang potensial untuk menjadi solusi global terlewat (Santosa et al., 2011:228).



Gambar 4.13 Grafik BS dan BWS iterasi solusi perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB

Dalam grafik solusi ketiga ini, tidak seperti grafik-grafik sebelumnya, tidak terdapat fluktuasi penurunan dan kenaikan energi, dimulai dari titik pertama. Pada titik pertama setelah beberapa kali iterasi masih mengalami nilai energi (E) yang konstan sampai akhirnya mengalami penurunan energi menuju ke titik T1. Pada saat di titik T1, energi terus konstan tidak turun maupun naik, sampai dengan akhir iterasi dan ditemukan titik global optimum. Berbalik dengan kondisi grafik solusi pertama dan kedua, ketiadaan fluktuasi ini dikarenakan banyaknya terjadi penolakan hasil iterasi oleh rumus kriteria Metropolis yang memberikan kemungkinan bagi iterasi dengan nilai energi yang lebih tinggi dari sebelumnya untuk diterima, namun karena kemungkinan tersebut ditolak sehingga hasil iterasi memberikan energi dengan nilai yang konstan sampai ditetapkan sebagai global optimum.

Pada grafik ini, baik grafik *balance within station* (BS) maupun *balance between station* (BWS) memiliki karakteristik sama, titik global optimum (T3) dan titik lokal optimum 1 memiliki satu garis nilai, sehingga dapat disimpulkan nilai global optimum sudah ditemukan saat titik lokal optimum 1, dimana titik ini merupakan titik terendah dari keseluruhan iterasi sehingga dapat dikatakan hasil dari iterasi ini sudah optimal.

4.4.1.2 Hasil Jumlah Stasiun Kerja, Nilai *Balance Within Station* (BS), Nilai *Balance Between Station* (BWS) dan Susunan Aktivitas Terbaru

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai hasil stasiun kerja, nilai *balance within station* (BS) dan *balance between station* (BWS) yang dihasilkan melalui metode *simulated annealing* dan perbandingannya dengan nilai solusi awal yaitu hasil *ranked positional weight* (RPW), serta analisa susunan aktivitas terbaru dalam stasiun kerja dari *simulated annealing* yang berkaitan dengan peralatan yang digunakan, dikarenakan dalam

komputasi komputer sebelumnya hal ini tidak dapat dirumuskan sehingga akan dianalisa secara manual.

Tabel 4.28

Solusi Awal Perhitungan dengan *Ranked Positional Weight (RPW)*

Stasiun Kerja	No. Aktivitas	Replika	Waktu Stasiun Kerja (sec)
1	1,2,3,4,5	1	200,06
2	6,7,8	1	197,66
3	9,10	1	164,79
4	14,15	1	199,30
5	11,12,13	1	182,49
6	16,17,18,19	1	173,72
7	20,21,26,27,28,29,30	1	183,18
8	22,23,24,31,32,33,34,35,36,37	1	203,29
9	25,38,39	1	180,80
K = 9; BS = 19,539%; BWS = 14,761%			

Berikut ini adalah pembahasan iterasi pertama perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB.

Tabel 4.29

Solusi Pertama Perhitungan *Simulated Annealing* dengan MATLAB

Stasiun Kerja	No. Aktivitas	Replika	Waktu Stasiun Kerja (sec)
1	1,2,3,11,12	1	192,896
2	6,7,8	1	197,663
3	9,10	1	164,789
4	14,15	1	199,298
5	4,5,13	1	189,645
6	16,17,18,19	1	173,717
7	20,21,26,27,28,29,30	1	183,177
8	22,23,24,31,32,33,34,35,36,37	1	203,289
9	25,38,39	1	180,801
K = 9; BS = 19,526%; BWS = 14,739%			

Dari hasil solusi pertama didapatkan hasil total 9 stasiun kerja dimana jumlah ini sama seperti jumlah pada solusi awal dengan masing-masing stasiun kerja memiliki 1 replika, sehingga dapat disimpulkan tidak ada stasiun kerja yang memiliki waktu aktivitas melebihi nilai *cycle time*. Untuk nilai *balance within station (BS)* sebesar 19,562% dan nilai *balance between station (BWS)* sebesar 14,739%. Dari nilai tersebut jika dibandingkan dengan nilai *balance within station (BS)* dan nilai *balance between station (BWS)* solusi awal, hasil yang diberikan lebih optimal karena telah memberikan peningkatan dengan hasil yang lebih kecil walaupun perbandingannya tidak terlalu besar (Vilarinho et al., 2002:1415).

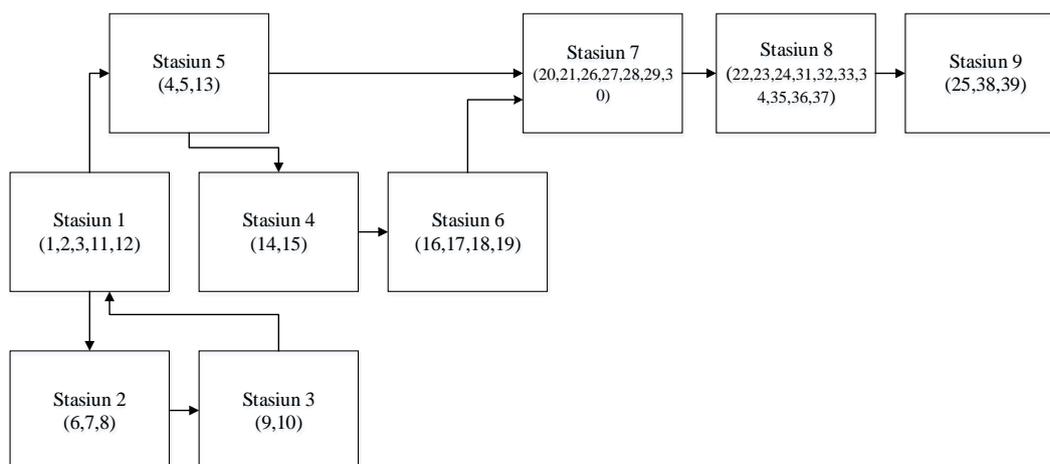
Untuk susunan aktivitas yang berubah dari solusi awal yaitu hasil *ranked positional weight* adalah adanya pertukaran aktivitas pada stasiun kerja 1 dan stasiun kerja 5, dimana perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30
Daftar Susunan Aktivitas yang Mengalami Perubahan

Stasiun	No. Akt	Aktivitas	Alat yang Digunakan
1	1	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	<i>hand pallet</i>
	2	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	-
	3	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	-
	11	Proses mengukur berat basah, kering, dan basah I 10 sampel	Alat: Timbangan laboratorium
	12	Menghitung <i>PZ Content</i> , <i>Tow weight</i> , <i>Carbon content</i> dengan rumus	
5	4	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	Alat: <i>mitutoyo length gauge</i> , <i>caliper</i> , <i>slitter</i> , dan meja lampu (<i>custom made</i>)
	5	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	
	13	Memasukkan data	-

Dari Tabel 4.30 dijabarkan mengenai stasiun kerja yang daftar aktivitas mengalami perubahan susunan yang dianalisa kesesuaian rancangan susunan aktivitasnya dalam stasiun kerja berdasarkan mesin yang digunakan pada aktivitas tersebut. Pada stasiun kerja 1 terdapat susunan aktivitas 1 untuk proses *Sampling*, aktivitas 2 dan 3 untuk cek *tray content*, dan aktivitas 11 dan 12 yang adalah sebagian dari proses cek berat kering dan berat basah, serta untuk stasiun 5 terdapat aktivitas 4 dan 5 untuk aktivitas cek *length* dan aktivitas 13 yang adalah aktivitas terakhir dari rangkaian cek berat kering dan berat basah, sehingga dapat disimpulkan rancangan stasiun kerja ini memecah proses cek berat kering dan basah ke dalam dua stasiun kerja.

Namun berdasarkan analisa penulis dari aktivitas di lapangan, aktivitas 13 tidak membutuhkan peralatan, hanya membutuhkan catatan hasil proses aktivitas 11 dan 12, sehingga pemecahan aktivitas ini dapat diusulkan dengan jarak stasiun yang berdekatan sehingga operator dapat berkoordinasi satu dengan yang lain. Rancangan susunan stasiun kerja yang telah disesuaikan *precedence* dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Ilustrasi hasil stasiun kerja untuk solusi pertama

Berikut ini adalah pembahasan solusi kedua perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB.

Tabel 4.31

Solusi Kedua Perhitungan *Simulated Annealing* dengan MATLAB

Stasiun Kerja	No. Aktivitas	Replika	Waktu Stasiun Kerja (sec)
1	1,2,3,4,11	1	194,72
2	6,7,8	1	197,66
3	9,10	1	164,79
4	14,15	1	199,30
5	5,12,13	1	187,83
6	16,17,18,19	1	173,72
7	20,21,26,27,28,29,30	1	183,18
8	22,23,24,31,32,33,34,35,36,37	1	203,29
9	25,38,39	1	180,80
K = 9; BS = 19,527%; BWS = 14,742%			

Dari hasil solusi kedua didapatkan hasil total 9 stasiun kerja dimana jumlah ini sama seperti jumlah pada solusi awal dengan masing-masing stasiun kerja memiliki 1 replika, sehingga dapat disimpulkan tidak ada stasiun kerja yang memiliki waktu aktivitas melebihi nilai *cycle time*. Untuk nilai *balance within station* (BS) sebesar 19,527% dan nilai *balance between station* (BWS) sebesar 14,742%. Dari nilai tersebut jika dibandingkan dengan nilai *balance within station* (BS) dan nilai *balance between station* (BWS) solusi awal, hasil yang diberikan lebih optimal karena telah memberikan peningkatan dengan hasil yang lebih kecil walaupun perbandingannya tidak terlalu besar (Vilarinho et al., 2002:1415).

Untuk susunan aktivitas yang berubah dari solusi awal yaitu hasil *ranked positional weight* adalah adanya pertukaran aktivitas pada stasiun kerja 1 dan stasiun kerja 5, dimana perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 4.32.

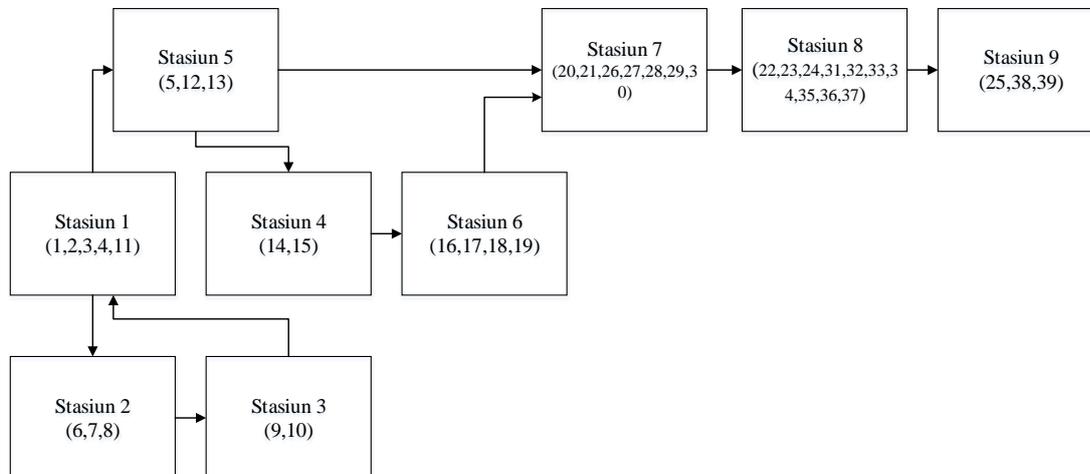
Tabel 4.32

Daftar Susunan Aktivitas yang Mengalami Perubahan

Stasiun	No. Akt	Aktivitas	Alat yang Digunakan
1	1	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	<i>hand pallet</i>
	2	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	-
	3	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	-
	4	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	Alat : <i>mitutoyo length gauge, caliper, slitler</i> , dan meja lampu (<i>custom made</i>)
	11	Proses mengukur berat basah, kering dan basah I 10 sampel	Alat : Timbangan laboratorium
5	5	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	-
	12	Menghitung <i>PZ Content, Tow weight, Carbon content</i> dengan rumus	-
	13	Memasukkan data	-

Dari Tabel 4.32 dijabarkan mengenai stasiun kerja yang daftar aktivitas mengalami perubahan susunan yang dianalisa kesesuaian rancangan susunan aktivitasnya dalam stasiun kerja berdasarkan mesin yang digunakan pada aktivitas tersebut. Pada stasiun kerja 1 terdapat susunan aktivitas 1 untuk proses *Sampling*, aktivitas 2 dan 3 untuk cek *tray content*, aktivitas 4 yang adalah sebagian dari proses cek *length*, dan aktivitas 11 yang adalah sebagian dari proses cek berat kering dan berat basah, serta untuk stasiun 5 terdapat aktivitas 5 yang adalah sebagian dari proses cek *length* dan aktivitas 12 dan 13 yang adalah sebagian aktivitas cek berat kering dan berat basah, sehingga dapat disimpulkan rancangan stasiun kerja ini memecah proses cek *length* dan cek berat kering dan basah ke dalam dua stasiun kerja.

Berdasarkan analisa dari data pada Tabel 4.32, pemecahan aktivitas tersebut seharusnya tidak menjadi masalah, karena pada aktivitas 5, 12, dan 13 tidak membutuhkan suatu peralatan tertentu, hanya data yang ditulis pada kertas sebagai masukan dari aktivitas sebelumnya, yaitu aktivitas 4 dan 11. Namun, tetap ada kemungkinan jika iterasi ini diterapkan membutuhkan banyak koordinasi dan memperbesar kemungkinan terjadinya miskomunikasi jika ada data yang tidak lengkap dari stasiun kerja sebelumnya. Rancangan susunan stasiun kerja dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Ilustrasi hasil stasiun kerja untuk solusi kedua

Berikut ini adalah pembahasan solusi ketiga perhitungan *simulated annealing* dengan MATLAB.

Tabel 4.33

Solusi Ketiga Perhitungan *Simulated Annealing* dengan MATLAB

Stasiun Kerja	No. Aktivitas	Replika	Waktu Stasiun Kerja (sec)
1	1,2,3,4,9	1	183,696
2	6,7,8	1	197,663
3	5,10	1	181,151
4	14,15	1	199,298
5	11,12,13	1	182,484

Stasiun Kerja	No. Aktivitas	Replika	Waktu Stasiun Kerja (sec)
6	16,17,18,19	1	173,717
7	20,21,26,27,28,29,30	1	183,177
8	22,23,24,31,32,33,34,35,36,37	1	203,289
9	25,38,39	1	180,801
K = 9; BS = 19,491%; BWS = 14,677%			

Dari hasil solusi ketiga didapatkan hasil total 9 stasiun kerja dimana jumlah ini sama seperti jumlah pada solusi awal dengan masing-masing stasiun kerja memiliki 1 replika, sehingga dapat disimpulkan tidak ada stasiun kerja yang memiliki waktu aktivitas melebihi nilai *cycle time*. Untuk nilai *balance within station* (BS) sebesar 19,491% dan nilai *balance between station* (BWS) sebesar 14,677%. Dari nilai tersebut jika dibandingkan dengan nilai *balance within station* (BS) dan nilai *balance between station* (BWS) solusi awal, hasil yang diberikan lebih optimal karena telah memberikan peningkatan dengan hasil yang lebih kecil walaupun perbandingannya tidak terlalu besar (Vilarinho et al., 2002:1415).

Untuk susunan aktivitas yang berubah dari solusi awal yaitu hasil *ranked positional weight* adalah adanya pertukaran aktivitas pada stasiun kerja 1 dan stasiun kerja 3, dimana perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34

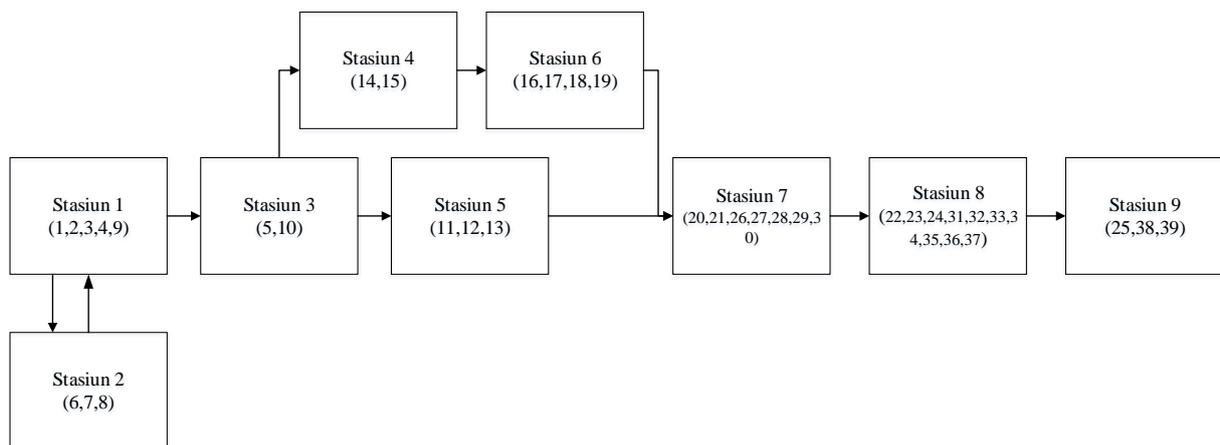
Daftar Susunan Aktivitas yang Mengalami Perubahan

Stasiun	No. Akt	Aktivitas	Alat yang Digunakan
1	1	Mengambil <i>tray</i> pada mesin	<i>hand pallet</i>
	2	Proses pengecekan jumlah isi <i>tray</i> sesuai dengan spesifikasi	-
	3	<i>Sampling</i> acak 75 sampel filter dari <i>tray</i>	-
	4	Ukur 10 sampel dengan alat ukur <i>length</i> tester	mitutoyo <i>length gauge</i> , <i>caliper</i> , <i>slitter</i> , dan meja lampu (<i>custom made</i>)
	9	Tes PZ dengan mengambil 1 ml dari hasil shake dan dimasukkan pada mesin GC	mesin GC (<i>gas chromatograph</i>)
3	5	Proses cek kesesuaian dengan spesifikasi	-
	10	Proses cek hasil GC	mesin GC (<i>gas chromatograph</i>)

Dari Tabel 4.34 dijabarkan mengenai stasiun kerja yang daftar aktivitas mengalami perubahan susunan yang dianalisa kesesuaian rancangan susunan aktivitasnya dalam stasiun kerja berdasarkan mesin yang digunakan pada aktivitas tersebut. Pada stasiun kerja 1 terdapat susunan aktivitas 1 untuk proses *Sampling*, aktivitas 2 dan 3 untuk cek *tray content*, aktivitas 4 yang adalah sebagian dari proses cek *length*, dan aktivitas 9 yang adalah sebagian dari proses cek *plasticizer*, serta untuk stasiun 5 terdapat aktivitas 5 yang adalah sebagian dari proses cek *length* dan aktivitas 10 yang adalah sebagian aktivitas cek

plasticizer, sehingga dapat disimpulkan rancangan stasiun kerja ini memecah proses cek *length* dan cek *plasticizer* ke dalam dua stasiun kerja.

Berdasarkan analisa dari data pada Tabel 4.34, pemecahan aktivitas untuk proses cek *length* seharusnya tidak menjadi masalah, karena pada aktivitas 5 tidak membutuhkan suatu peralatan tertentu, hanya data yang ditulis pada kertas sebagai masukan dari aktivitas sebelumnya, yaitu aktivitas 4. Namun, tetap ada kemungkinan jika Iterasi ini diterapkan membutuhkan banyak koordinasi dan memperbesar kemungkinan terjadinya miskomunikasi jika ada data yang tidak lengkap dari stasiun kerja sebelumnya. Sedangkan untuk aktivitas cek *plasticizer* akan menjadi masalah, karena aktivitas 9 dan 10 menggunakan mesin GC untuk pelaksanaannya, dimana untuk jika dipisah dalam dua stasiun kerja akan tidak mungkin bagi jalannya proses aktivitas. Namun sebagai salah satu hasil solusi yang diberikan dari komputasi *simulated annealing*, ilustrasi stasiun kerja akan tetap digambarkan dalam Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Ilustrasi hasil stasiun kerja untuk solusi ketiga

4.4.1.3 Solusi Terbaik

Dari pembahasan pada sub-bab diatas, dari pembahasan ketiga grafik, hanya ada dua solusi yang titik global optimumnya atau titik akhir dari keseluruhan iterasinya adalah merupakan titik yang paling terendah sehingga memberikan hasil dengan nilai paling optimal, yaitu solusi pertama dan kedua.

Namun jika ditinjau dari nilai *balance within station* (BS) dan *balance between station* (BWS), solusi ketiga memberikan hasil yang lebih optimal dengan memberikan nilai terendah dibandingkan solusi pertama dan kedua, yaitu masing-masing sebesar 19,491% untuk *balance within station* (BS) dan 14,677% untuk *balance between station* (BWS). Namun ditinjau dari grafiknya, iterasi yang dilakukan menggambarkan adanya proses

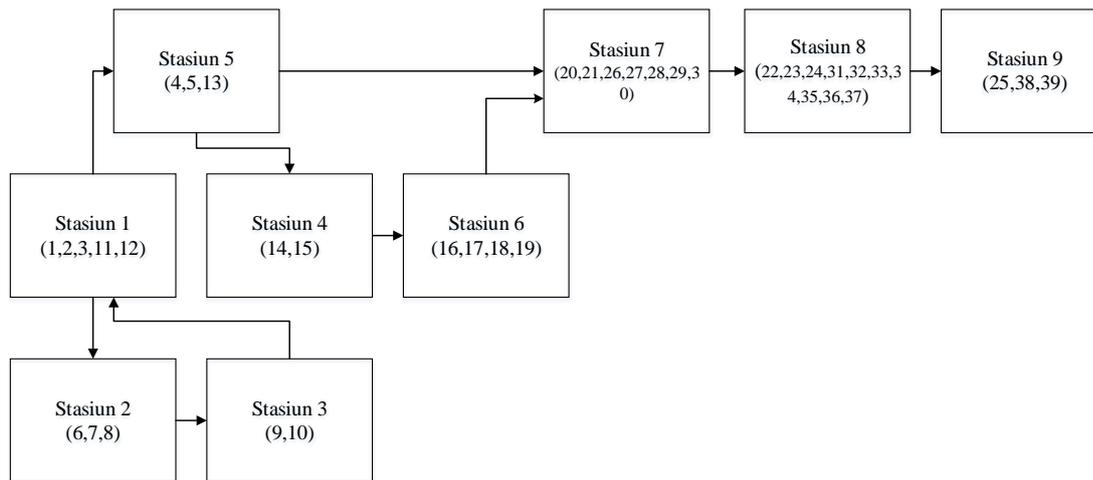
iterasi yang terjebak dalam lokal optimum (*local search trap*) karena memiliki nilai energi yang konstan pada hampir keseluruhan proses optimasi. Walaupun begitu proses optimasi ini tetap dapat diterima karena telah adanya usaha dari penerapan kriteria Metropolis, yaitu suatu langkah khusus yang membedakan *simulated annealing* dengan optimasi konvensional, dimana kriteria ini memberikan kemungkinan bagi iterasi dengan nilai energi yang lebih tinggi dari sebelumnya untuk diterima dengan harapan pada iterasi selanjutnya dapat dicapai nilai energi yang lebih baik. Salah satu penyebab ada banyaknya jumlah iterasi dengan nilai energi lebih besar dari sebelumnya ditolak kriteria Metropolis adalah dikarenakan dengan menurunnya temperatur (semakin dekat titik optimal) peluang suatu energi dengan nilai lebih besar dari sebelumnya untuk diterima semakin kecil (Santosa et al., 2011:227).

Dari segi analisa kesesuaian rancangan susunan aktivitas dalam stasiun kerja berdasarkan mesin yang digunakan, hanya solusi pertama yang dianggap dapat diterima, dimana pada rancangan tersebut hanya memiliki satu proses yang aktivitas-aktivitasnya dipecah ke dalam dua stasiun kerja yaitu proses cek berat kering dan basah, namun masih dapat diterima dengan jarak stasiun yang berdekatan sehingga operator dapat berkoordinasi satu dengan yang lain. Sehingga, dapat disimpulkan solusi terbaik dari metode *simulated annealing* ini adalah pada solusi pertama.

Tabel 4.35

Solusi Terbaik *Simulated Annealing* dengan MATLAB

Stasiun Kerja	No. Aktivitas	Replika	Waktu Stasiun Kerja (sec)
1	1,2,3,11,12	1	192,896
2	6,7,8	1	197,663
3	9,10	1	164,789
4	14,15	1	199,298
5	4,5,13	1	189,645
6	16,17,18,19	1	173,717
7	20,21,26,27,28,29,30	1	183,177
8	22,23,24,31,32,33,34,35,36,37	1	203,289
9	25,38,39	1	180,801
K = 9; BS = 19,526%; BWS = 14,739%			



Gambar 4.17 Ilustrasi solusi stasiun kerja terbaik

4.4.2 Perbandingan Kondisi Aktual, Hasil Metode RPW dan *Simulated Annealing*

Berikut ini merupakan perbandingan dari penelitian yang telah dilakukan, baik itu gambaran dari kondisi aktual maupun hasil dari perhitungan dengan metode *ranked positional weight* (RPW) dan *simulated annealing*. Pada Tabel 4.36 merupakan ringkasan yang meliputi jumlah stasiun kerja, nilai *balance between station* (BWS), dan *balance within station* (BS).

Tabel 4.36

Perbandingan Hasil Aktual, RPW dan *Simulated Annealing*

Kondisi	Stasiun Kerja	Waktu Stasiun Kerja (sec)	Cycle Time (sec)	BWS	BS
Aktual	5	Stasiun Kerja 1: 458,77 Stasiun Kerja 2: 302,17 Stasiun Kerja 3: 355,63 Stasiun Kerja 4: 247,89 Stasiun Kerja 5: 271,88	296,907	17,813%	31,36%
RPW	9	Stasiun Kerja 1: 200,06 Stasiun Kerja 2: 197,66 Stasiun Kerja 3: 164,79 Stasiun Kerja 4: 199,30 Stasiun Kerja 5: 182,49 Stasiun Kerja 6: 173,72 Stasiun Kerja 7: 183,18 Stasiun Kerja 8: 203,29 Stasiun Kerja 9: 180,80	204,26	14,761%	19,539%
SA	9	Stasiun Kerja 1: 192,896 Stasiun Kerja 2: 197,663 Stasiun Kerja 3: 164,789 Stasiun Kerja 4: 199,298 Stasiun Kerja 5: 189,645 Stasiun Kerja 6: 173,17 Stasiun Kerja 7: 183,177 Stasiun Kerja 8: 203,289 Stasiun Kerja 9: 180,801	204,26	14,739%	19,526%

Dari hasil pada Tabel 4.36 diketahui bahwa pada kondisi aktual, stasiun kerja di lapangan sebanyak 5 stasiun. Namun untuk nilai *balance between station* (BWS) dan *balance within station* (BS) lebih tinggi dibandingkan dengan nilai dari hasil metode *ranked positional weight* (RPW) dan *simulated annealing*, yaitu masing-masing sebanyak 17,813% dan 31,36%.

Dari penelitian ini, metode RPW dan *simulated annealing* telah memberikan solusi yang lebih optimal dengan nilai BS dan BWS yang mengalami peningkatan dan lebih mendekati 0. Hal ini juga terlihat dari nilai waktu setiap stasiun kerja, untuk kondisi aktual memiliki perbedaan yang cukup signifikan antara stasiun kerja 1, 2, dan 3 dengan stasiun 4 dan 5 dengan beberapa waktu stasiun kerja melebihi nilai *cycle time* yang telah disesuaikan dengan waktu yang tersedia dan jumlah permintaan kosumen, sedangkan pada hasil perhitungan RPW dan *simulated annealing* menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda antara satu stasiun kerja dengan yang lainnya dan tidak melebihi *cycle time*, sehingga dapat disimpulkan bahwa pembagian aktivitas dan waktu aktivitas pada setiap stasiun lebih seimbang pada hasil RPW dan *simulated annealing*.

Untuk hasil dari perhitungan dengan metode RPW memberikan solusi yang cukup signifikan. Dari jumlah stasiun kerja yang awalnya berjumlah 5 stasiun, pada metode ini bertambah menjadi 9 stasiun kerja. Walaupun begitu, nilai BS dan BWS yang diberikan mengalami penurunan yang cukup signifikan, yaitu sebesar 14,761% untuk BS dan 19,539% untuk BWS, dengan banyak perbedaan dari aktual sebanyak 3,052% untuk BWS dan 11,821% untuk BS.

Untuk hasil dari perhitungan *simulated annealing* memberikan solusi yang tidak jauh berbeda dari solusi perhitungan metode RPW. Dari jumlah stasiun kerja yang pada RPW berjumlah 9 stasiun, pada metode ini tetap menjadi 9 stasiun kerja. Walaupun begitu, nilai BS dan BWS yang diberikan mengalami penurunan walaupun tidak cukup signifikan, yaitu sebesar 14,739% untuk BS dan 19,526% untuk BWS, dengan banyak perbedaan dari metode *ranked positional weight* (RPW) sebanyak 0,022% untuk BWS dan 0,013% untuk BS dan dari aktual sebanyak 3,074% untuk BWS dan 11,84% untuk BS.

4.5 Kekurangan Penelitian

Dalam penelitian yang dilaksanakan, tentunya ada beberapa keterbatasan. Keterbatasan-keterbatasan tersebut meliputi pemilihan nilai temperatur awal, pereduksi suhu dan jumlah iterasi. Dikarenakan tidak ada nilai yang unik untuk semua permasalahan, maka ada kalanya pemilihan nilai konstanta-konstanta dapat lebih besar atau lebih kecil

dari seharusnya, sehingga ada nilai global optimum yang terlewat, atau langkah komputasi memiliki iterasi yang terlalu banyak untuk konvergen, atau juga jumlah iterasi yang terlalu kecil sehingga konvergensi terlalu cepat atau menuju ke solusi namun lokal optimum (Santosa et al., 2011:228).

Namun dengan adanya penelitian ini diharapkan menjadi pembelajaran, untuk teknik pemilihan konstanta yang lebih baik ke depannya bagi penelitian-penelitian yang melibatkan metode *simulated annealing*.