

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini menggunakan studi kasus pembangunan ruko di Surabaya, yang dikerjakan oleh kontraktor PT. X. Lokasi proyek berada di Jl. Dr. Ir. H. Soekarno No. 18-21, Semolowaru, Surabaya, Jawa Timur. Ruko tersebut memiliki tinggi sekitar  $\pm 23.00$  m dengan 4 lantai dan 1 penutup atap beton. Denah dan tampak proyek dapat dilihat pada Lampiran 1 hingga Lampiran 8. Pembangunan dimulai pada November 2023 dan diharapkan selesai pada Oktober 2024. Sebelumnya, terdapat dua tahap pembangunan serupa yang telah diselesaikan. PT. X bertindak sebagai kontraktor utama untuk proyek ini.

Pembangunan dimulai dengan pekerjaan tanah dan berlanjut ke struktur. Pekerjaan tanah mencakup pekerjaan galian tanah, pondasi, dan urugan. Sementara itu, pekerjaan struktur mencakup kolom, balok, pelat, tangga, dinding, dan penutup atap. Penelitian ini dilakukan pada saat penulis melakukan kegiatan magang selama 4 bulan. Keterbatasan waktu tersebut mengakibatkan penulis tidak dapat menganalisa lebih lanjut beberapa aktivitas yang belum selesai. Beberapa aktivitas yang akan dianalisa yaitu pekerjaan tanah, pekerjaan pondasi, pekerjaan beton lantai 1, pekerjaan beton lantai 2, pekerjaan beton lantai 3, pekerjaan beton lantai 4, pekerjaan bekesting dan pembesian lantai atap, dan pekerjaan bata lantai 1 dan lantai 2. Pekerjaan tersebut memerlukan waktu 167 hari pada jadwal perencanaan.

### 4.2 Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan oleh penulis pada saat menjalankan kegiatan magang. Data yang dikumpulkan adalah 15 data proyek historis dan 1 data studi kasus yaitu Proyek Ruko X.

#### 4.2.1 Data Studi Kasus

Data studi kasus yang diteliti adalah data durasi proyek pembangunan ruko X menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM). Data yang diambil dari proyek studi kasus ini adalah berupa data perencanaan dan aktual. Kedua data tersebut didapatkan dari BOQ, Kurva S, dan jumlah pekerja. Durasi pekerjaan rencana di dapatkan dari pengolahan kurva S proyek, sedangkan durasi pekerjaan aktual didapatkan dari pengamatan yang dilakukan penulis pada saat menjalankan kegiatan magang. Data studi kasus yang sudah diolah dapat dilihat di Lampiran 10 sampai Lampiran 24.

#### 4.2.2 Data Historis

Data historis yang dikumpulkan adalah data proyek pembangunan ruko sejenis yang mempunyai jenis aktivitas yang tipikal dengan data studi kasus. Data historis tersebut mempunyai kriteria sebagai berikut:

- Tipe Proyek : Ruko
- Jumlah lantai : 4
- Lokasi : Indonesia
- Jumlah data : 15 data proyek

Selain itu, data historis yang digunakan adalah data aktual dari proyek-proyek ruko yang sesuai dengan kriteria tersebut yang akan diolah menggunakan metode *Monte Carlo Simulation* (MCS). Simulasi ini dijalankan dengan menggunakan data proyek historis yang diolah dan di iterasi menggunakan *Oracle Crystal Ball*. Data aktual yang digunakan berupa BOQ dan durasi serta jumlah tenaga kerja yang didapatkan dengan melakukan wawancara dengan pelaksana proyek (*mandor, project manager, dan site manager*).

#### 4.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan 2 metode. Metode pertama yaitu secara deterministik menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan yang kedua yaitu probabilistik menggunakan *Monte Carlo Simulation* (MCS). Data yang diolah menggunakan metode deterministik adalah data rencana dan aktual proyek studi kasus. Sedangkan data yang diolah menggunakan metode probabilistik adalah data aktual proyek historis.

##### 4.3.1 Data Studi Kasus

Data durasi rencana yang dihitung yaitu berasal dari pengolahan kurva S Proyek Ruko X, sedangkan data durasi aktual didapatkan pada saat penulis melakukan kegiatan magang. Setelah mengolah kurva S proyek menjadi CPM, dilakukan wawancara kepada *site manager* Proyek Ruko X untuk memastikan kebenaran dari hubungan aktivitasnya. Setelah wawancara, dilakukan revisi di beberapa hubungan aktivitas yang salah dan menyusun CPM yang tepat. Setelah itu, dilakukan perhitungan *Early Start* (ES), *Early Finish* (EF), *Late Start* (LS), *Late Finish* (LF) dan total durasi.

##### 4.3.2 Data Historis

Melalui data yang sudah di dapatkan dari proyek historis, kemudian diolah menjadi kumpulan data produktivitas untuk masing-masing aktivitas pada proyek setipe. Perhitungan produktivitas tersebut menggunakan persamaan 4.1.

$$\text{Produktivitas } T.K. = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Jumlah } T.K. \times \text{Durasi Pekerjaan}} \quad (4.1)$$

Produktivitas pada masing-masing aktivitas setiap proyek akan dicari menggunakan persamaan di atas. Setelah mendapatkan produktivitas tersebut, data produktivitas masing-masing proyek dijadikan satu untuk diolah kembali oleh *Oracle Crystal Ball* untuk menjalankan *Monte Carlo Simulation* (MCS). MCS didapatkan dengan menggunakan distribusi probabilitas yaitu *fitted distribution*. *Fitted distribution* pada *Oracle Crystal Ball* membutuhkan minimal 15 data agar *Oracle Crystal Ball* dapat mendefinisikan jenis. Secara lengkap, kumpulan data hasil produktivitas pekerjaan terdapat pada Lampiran 25.

Setelah produktivitas tenaga kerja diolah oleh *Oracle Crystal Ball*, selanjutnya data tersebut diolah kembali menjadi durasi probabilitas. Durasi probabilitas tersebut dicari dengan menggunakan persamaan 4.2.

$$\text{Durasi Probabilistik (hari)} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Jumlah } T.K. \times \text{Probabilitas } T.K. \text{ produktivitas}} \quad (4.2)$$

Pada tahap pengolahan ini, volume pekerjaan dan jumlah tenaga kerja menggunakan data yang didapatkan dari proyek studi kasus. Kemudian dilakukan simulasi MCS kembali pada durasi probabilitas tersebut. Distribusi yang digunakan untuk setiap aktivitasnya adalah berdasarkan hasil dari *fitted distribution* saat menjalankan MCS pada data produktivitas. Hal ini bertujuan untuk menganalisa perbedaan durasi antara durasi perencanaan dan durasi aktual dengan durasi probabilitas.

#### 4.4 Estimasi Durasi Secara Deterministik

Melalui data yang sudah diolah, maka di dapatkan durasi, *Early Finish* (EF), *Early Start* (ES), dan *successor* yang ditunjukkan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2. Sedangkan untuk hasil dari CPM dapat dilihat pada Lampiran 26 sampai Lampiran 27.

Tabel 4.1 Durasi Rencana Deterministik Proyek Ruko X

| KODE AKTIVITAS | ITEM PEKERJAAN                     | DURASI (HARI) | EARLY START (ES) | EARLY FINISH (EF) | SUCCESSOR  |
|----------------|------------------------------------|---------------|------------------|-------------------|------------|
| <b>B</b>       | <b>PEKERJAAN TANAH</b>             |               |                  |                   |            |
| B1             | Galian tanah sloof dan poer        | 14            | 14               | 28                | C2         |
| B2             | Buang tanah sisa galian            | 7             | 47               | 54                | H2         |
| B3             | Urug pasir                         | 7             | 40               | 47                | B2         |
| <b>C</b>       | <b>PEKERJAAN SUB STRUCTUR</b>      |               |                  |                   |            |
| C1             | Tiang pancang                      | 14            | 0                | 14                | B1, C5     |
| C2             | Beton lantai kerja bawah           | 3             | 28               | 31                | C4, C8     |
| C3             | Beton poer (pilecap)               | 1             | 39               | 40                | B3         |
| C4             | Bekesting poer (pilecap)           | 2             | 31               | 33                | D3, C3     |
| C5             | Pembesian poer (pilecap)           | 6             | 14               | 20                | C2         |
| C6             | Beton sloof                        | 1             | 39               | 40                | B3         |
| C7             | Bekesting                          | 3             | 36               | 39                | C6         |
| C8             | Pembesian sloof                    | 7             | 31               | 38                | C7         |
| <b>D</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI SATU</b> |               |                  |                   |            |
| D1             | Beton kolom                        | 1             | 60               | 61                | E6, E8     |
| D2             | Bekesting kolom                    | 8             | 47               | 60                | D1         |
| D3             | Pembesian kolom                    | 10            | 33               | 47                | D2         |
| D4             | Beton plat lantai+tangga           | 1             | 121              | 122               | J1         |
| D5             | Bekesting tangga                   | 13            | 94               | 104               | D6         |
| D6             | Pembesian tangga                   | 14            | 104              | 116               | D4         |
| <b>E</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI DUA</b>  |               |                  |                   |            |
| E1             | Beton kolom                        | 1             | 74               | 75                | F6, F8     |
| E2             | Bekesting kolom                    | 3             | 71               | 74                | E1         |
| E3             | Pembesian kolom                    | 5             | 64               | 69                | E2         |
| E4             | Beton plat lantai+tangga           | 1             | 70               | 71                | E2         |
| E5             | Pembesian plat + tangga            | 6             | 64               | 70                | E4, E7     |
| E6             | Bekesting plat + tangga            | 3             | 61               | 64                | E5         |
| E7             | Beton balok                        | 1             | 70               | 71                | E2         |
| E8             | Bekisting balok                    | 3             | 61               | 64                | E3, E9     |
| E9             | Pembesian balok                    | 5             | 64               | 69                | E4, E7     |
| <b>F</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI TIGA</b> |               |                  |                   |            |
| F1             | Beton kolom                        | 1             | 95               | 96                | J1, G5, G8 |
| F2             | Bekesting kolom                    | 5             | 89               | 94                | F1         |
| F3             | Pembesian kolom                    | 7             | 82               | 89                | F2         |
| F4             | Beton plat lantai+tangga           | 1             | 94               | 95                | D4, F1     |

| KODE AKTIVITAS | ITEM PEKERJAAN                      | DURASI (HARI) | EARLY START (ES) | EARLY FINISH (EF) | SUCCESSOR |
|----------------|-------------------------------------|---------------|------------------|-------------------|-----------|
| <b>F</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI TIGA</b>  |               |                  |                   |           |
| F5             | Pembesian plat + tangga             | 10            | 84               | 94                | F4,F7     |
| F6             | Bekesting plat + tangga             | 9             | 75               | 84                | F5        |
| F7             | Beton balok                         | 1             | 94               | 95                | D4, F1    |
| F8             | Bekisting balok                     | 7             | 75               | 82                | F3, F9    |
| F9             | Pembesian balok                     | 8             | 82               | 90                | F4, F7    |
| <b>G</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI EMPAT</b> |               |                  |                   |           |
| G1             | Beton kolom                         | 1             | 116              | 117               | H1, H3    |
| G2             | Bekesting kolom                     | 5             | 110              | 115               | G1        |
| G3             | Pembesian kolom                     | 7             | 103              | 110               | G2        |
| G4             | Beton plat lantai                   | 1             | 115              | 116               | G1        |
| G5             | Bekesting plat                      | 10            | 96               | 106               | G6        |
| G6             | Pembesian plat                      | 9             | 106              | 115               | G4, G7    |
| G7             | Beton balok                         | 1             | 115              | 116               | G1        |
| G8             | Bekisting balok                     | 7             | 96               | 103               | G3, G9    |
| G9             | Pembesian balok                     | 8             | 103              | 111               | G4, G7    |
| <b>H</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI ATAP</b>  |               |                  |                   |           |
| H1             | Bekesting plat                      | 9             | 117              | 126               | H2        |
| H2             | Pembesian plat                      | 3             | 159              | 162               | FINISH    |
| H3             | Bekisting balok                     | 4             | 117              | 121               | H4        |
| H4             | Pembesian balok                     | 4             | 121              | 125               | H2        |
| <b>J</b>       | <b>PEKERJAAN PASANGAN BATA</b>      |               |                  |                   |           |
| J1             | Pasangan bata lantai 1              | 21            | 117              | 138               | J2        |
| J2             | Pasangan bata lantai 2              | 21            | 138              | 159               | H2        |

1. Jalur kritis dari perhitungan tersebut adalah:

START-C1-B1-C2-C4-D3-D2-D1-E6-E5-E4-E2-E1-F6-F5-D5-D6-D4-J1-J2-H2-END

2. Total durasi dari perhitungan tersebut adalah:

167 hari

Tabel 4.2 Durasi Aktual Deterministik Proyek Ruko X

| KODE AKTIVITAS | ITEM PEKERJAAN                     | DURASI (HARI) | EARLY START (ES) | EARLY FINISH (EF) | SUCCESSOR  |
|----------------|------------------------------------|---------------|------------------|-------------------|------------|
| <b>B</b>       | <b>PEKERJAAN TANAH</b>             |               |                  |                   |            |
| B1             | Galian tanah sloof dan poer        | 14            | 20               | 34                | C2         |
| B2             | Buang tanah sisa galian            | 7             | 62               | 69                | H2         |
| B3             | Urug pasir                         | 7             | 55               | 62                | B2         |
| <b>C</b>       | <b>PEKERJAAN SUB STRUCTUR</b>      |               |                  |                   |            |
| C1             | Tiang pancang                      | 20            | 0                | 20                | B1, C5     |
| C2             | Beton lantai kerja bawah           | 5             | 34               | 39                | C4, C8     |
| C3             | Beton poer (pilecap)               | 1             | 54               | 55                | B3         |
| C4             | Bekesting poer (pilecap)           | 7             | 39               | 46                | D3, C3     |
| C5             | Pembesian poer (pilecap)           | 7             | 20               | 27                | C2         |
| C6             | Beton sloof                        | 1             | 54               | 55                | B3         |
| C7             | Bekesting                          | 8             | 46               | 54                | C6         |
| C8             | Pembesian sloof                    | 7             | 39               | 46                | C7         |
| <b>D</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI SATU</b> |               |                  |                   |            |
| D1             | Beton kolom                        | 1             | 62               | 63                | E6, E8     |
| D2             | Bekesting kolom                    | 8             | 54               | 62                | D1         |
| D3             | Pembesian kolom                    | 8             | 46               | 54                | D2         |
| D4             | Beton plat lantai+tangga           | 1             | 120              | 121               | J1         |
| D5             | Bekesting tangga                   | 4             | 11               | 115               | D6         |
| D6             | Pembesian tangga                   | 5             | 115              | 120               | D4         |
| <b>E</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI DUA</b>  |               |                  |                   |            |
| E1             | Beton kolom                        | 1             | 89               | 90                | F6, F8     |
| E2             | Bekesting kolom                    | 7             | 82               | 89                | E1         |
| E3             | Pembesian kolom                    | 5             | 70               | 75                | E2         |
| E4             | Beton plat lantai+tangga           | 1             | 81               | 82                | E2         |
| E5             | Pembesian plat + tangga            | 11            | 70               | 81                | E4, E7     |
| E6             | Bekesting plat + tangga            | 7             | 63               | 70                | E5         |
| E7             | Beton balok                        | 1             | 81               | 82                | E2         |
| E8             | Bekisting balok                    | 7             | 63               | 70                | E3, E9     |
| E9             | Pembesian balok                    | 7             | 70               | 77                | E4, E7     |
| <b>F</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI TIGA</b> |               |                  |                   |            |
| F1             | Beton kolom                        | 1             | 112              | 113               | J1, G5, G8 |
| F2             | Bekesting kolom                    | 7             | 102              | 109               | F1         |
| F3             | Pembesian kolom                    | 5             | 97               | 102               | F2         |
| F4             | Beton plat lantai+tangga           | 1             | 111              | 112               | D4, F1     |

| KODE AKTIVITAS | ITEM PEKERJAAN                      | DURASI (HARI) | EARLY START (ES) | EARLY FINISH (EF) | SUCCESSOR |
|----------------|-------------------------------------|---------------|------------------|-------------------|-----------|
| <b>F</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI TIGA</b>  |               |                  |                   |           |
| F5             | Pembesian plat + tangga             |               |                  |                   |           |
| F6             | Bekesting plat + tangga             | 7             | 90               | 97                | F5        |
| F7             | Beton balok                         | 1             | 111              | 112               | D4, F1    |
| F8             | Bekisting balok                     | 7             | 90               | 97                | F3, F9    |
| F9             | Pembesian balok                     | 7             | 97               | 104               | F4, F7    |
| <b>G</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI EMPAT</b> |               |                  |                   |           |
| G1             | Beton kolom                         | 1             | 132              | 133               | H1, H3    |
| G2             | Bekesting kolom                     | 7             | 125              | 132               | G1        |
| G3             | Pembesian kolom                     | 5             | 120              | 125               | G2        |
| G4             | Beton plat lantai                   | 1             | 130              | 131               | G1        |
| G5             | Bekesting plat                      | 7             | 113              | 120               | G6        |
| G6             | Pembesian plat                      | 10            | 120              | 130               | G4, G7    |
| G7             | Beton balok                         | 1             | 130              | 131               | G1        |
| G8             | Bekisting balok                     | 7             | 113              | 120               | G3, G9    |
| G9             | Pembesian balok                     | 7             | 120              | 127               | G4, G7    |
| <b>H</b>       | <b>PEKERJAAN BETON LANTAI ATAP</b>  |               |                  |                   |           |
| H1             | Bekesting plat                      | 7             | 133              | 140               | H2        |
| H2             | Pembesian plat                      | 10            | 170              | 180               | FINISH    |
| H3             | Bekisting balok                     | 7             | 133              | 140               | H4        |
| H4             | Pembesian balok                     | 6             | 140              | 146               | H2        |
| <b>J</b>       | <b>PEKERJAAN PASANGAN BATA</b>      |               |                  |                   |           |
| J1             | Pasangan bata lantai 1              | 28            | 121              | 149               | J2        |
| J2             | Pasangan bata lantai 2              | 21            | 149              | 170               | H2        |

1. Jalur kritis dari perhitungan tersebut adalah:

START-C1-B1-C2-C4-D3-D2-D1-E6-E5-E4-E2E1-F6-F5-D5-D6-D4-J1-J2-H2-END

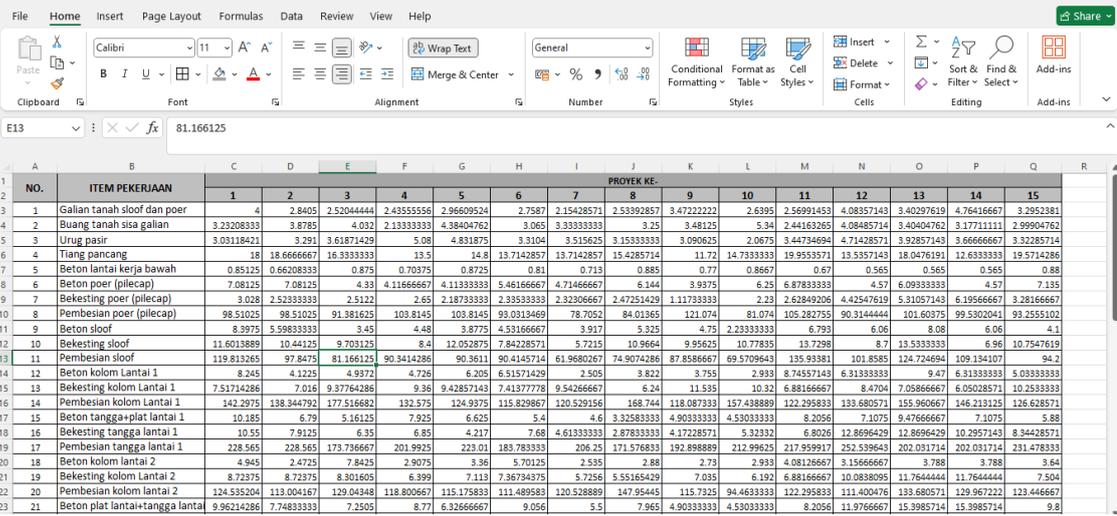
2. Total durasi dari perhitungan tersebut adalah

181 hari

#### 4.5 Estimasi Durasi Secara Probabilistik

Estimasi durasi secara probabilistik dilakukan dengan menggunakan bantuan *Oracle Crystal Ball*. Data produktivitas yang telah dihitung akan didefinisikan jenis distribusi datanya. Namun seringkali pendefinisian jenis distribusi ini salah karena kurangnya pemahaman tentang karakteristik jenis distribusi yang akan digunakan sehingga diperoleh hasil yang tidak valid. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut digunakan *fitted distribution*. *Fitted Distribution* merupakan fitur yang membantu penulis menentukan jenis distribusi yang tepat sesuai dengan kumpulan data historis yang dimiliki di setiap aktivitasnya. Penelitian ini menggunakan data historis sebanyak 15 data. Berikut adalah langkah-langkah pengerjaan estimasi durasi menggunakan *Oracle Crystal Ball*:

1. Masukkan 15 data produktivitas yang sudah diolah menggunakan persamaan 4.1 ke dalam 1 *sheet Excel*.



| NO. | ITEM PEKERJAAN                  | PROYEK KE- |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|     |                                 | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         | 13         | 14         | 15         |
| 1   | Galian tanah sloof dan poer     | 4          | 2.8405     | 2.52044444 | 2.43555556 | 2.96609524 | 2.7587     | 2.15428571 | 2.53392857 | 3.47222222 | 2.6395     | 2.56991453 | 4.08357143 | 3.40297619 | 4.76416667 | 3.2952381  |
| 2   | Buang tanah sisa galian         | 3.23208333 | 3.8785     | 4.032      | 2.13333333 | 4.38404762 | 3.065      | 3.33333333 | 3.25       | 3.48125    | 5.34       | 2.44163265 | 4.08485714 | 3.40404762 | 3.17711111 | 3.99904762 |
| 3   | Urug pasir                      | 3.03118421 | 3.291      | 3.61871429 | 5.08       | 4.831875   | 3.3104     | 3.515625   | 3.15333333 | 3.090625   | 2.0675     | 3.44734694 | 4.71428571 | 3.92857143 | 3.66666667 | 3.32285714 |
| 4   | Tiang pancang                   | 18         | 18.6666667 | 16.3333333 | 13.5       | 14.8       | 13.7142857 | 13.7142857 | 15.4285714 | 11.72      | 14.7333333 | 19.9553571 | 13.5357143 | 18.0476191 | 12.6333333 | 19.5714286 |
| 5   | Beton lantai kerja bawah        | 0.85125    | 0.66208333 | 0.875      | 0.70375    | 0.8725     | 0.81       | 0.713      | 0.885      | 0.77       | 0.8667     | 0.67       | 0.565      | 0.565      | 0.565      | 0.88       |
| 6   | Beton poer (pilecap)            | 7.08125    | 7.08125    | 4.33       | 4.11666667 | 4.11333333 | 5.46166667 | 4.71466667 | 6.144      | 3.9375     | 6.25       | 6.87833333 | 4.57       | 6.09333333 | 4.57       | 7.155      |
| 7   | Bekisting poer (pilecap)        | 3.018      | 2.52323333 | 2.5121     | 2.65       | 2.18733333 | 2.33533333 | 2.32306667 | 2.47251429 | 1.11733333 | 2.23       | 2.62849206 | 4.42547619 | 5.31057143 | 6.19566667 | 3.28166667 |
| 8   | Pembesian poer (pilecap)        | 98.51025   | 98.51025   | 91.381625  | 103.8145   | 103.8145   | 93.0313469 | 78.7052    | 84.01365   | 121.074    | 81.074     | 105.282755 | 90.3144444 | 101.60375  | 99.5302041 | 93.2555102 |
| 9   | Beton poer                      | 8.3975     | 5.59833333 | 3.45       | 4.48       | 3.8775     | 4.53166667 | 3.917      | 5.325      | 4.75       | 2.23333333 | 6.793      | 6.06       | 8.08       | 6.06       | 4.1        |
| 10  | Bekisting sloof                 | 11.6013889 | 10.44125   | 9.703125   | 8.4        | 12.052875  | 7.84228571 | 5.7215     | 10.9664    | 9.95625    | 10.77835   | 13.7298    | 8.7        | 13.5333333 | 6.96       | 10.7547619 |
| 11  | Pembesian sloof                 | 119.813265 | 97.8475    | 81.166125  | 90.3414286 | 90.3611    | 90.4145714 | 61.9680267 | 74.9074286 | 87.8586667 | 69.5709643 | 135.93381  | 101.8585   | 124.724694 | 109.134107 | 94.2       |
| 12  | Beton kolom lantai 1            | 8.245      | 4.1225     | 4.9372     | 4.726      | 6.205      | 6.51571429 | 2.505      | 3.822      | 3.755      | 2.933      | 8.74557143 | 6.31333333 | 9.47       | 6.31333333 | 5.03333333 |
| 13  | Bekisting kolom lantai 1        | 7.51714286 | 7.016      | 9.37764286 | 9.36       | 9.42857143 | 7.41377778 | 9.54266667 | 6.24       | 11.535     | 10.32      | 6.88166667 | 8.4704     | 7.05866667 | 6.05028571 | 10.2533333 |
| 14  | Pembesian kolom lantai 1        | 142.2975   | 138.344792 | 177.516682 | 132.575    | 124.9375   | 115.829867 | 120.529156 | 168.744    | 118.087333 | 157.438889 | 122.295833 | 133.680571 | 155.960667 | 146.213125 | 126.628571 |
| 15  | Beton tangga+plat lantai 1      | 10.185     | 6.79       | 5.16125    | 7.925      | 6.625      | 5.4        | 4.6        | 3.32583333 | 4.90333333 | 4.53033333 | 8.2056     | 7.1075     | 9.47666667 | 7.1075     | 5.88       |
| 16  | Bekisting tangga lantai 1       | 10.55      | 7.9125     | 6.35       | 6.85       | 4.217      | 7.68       | 4.61333333 | 2.87833333 | 4.17228571 | 5.32332    | 6.8026     | 12.8696429 | 12.8696429 | 10.2957143 | 8.34428571 |
| 17  | Pembesian tangga lantai 1       | 228.565    | 228.565    | 173.736667 | 201.9925   | 223.01     | 183.783333 | 206.25     | 171.576833 | 192.898889 | 212.99625  | 217.959917 | 252.539643 | 202.031714 | 202.031714 | 231.478333 |
| 18  | Beton kolom lantai 2            | 4.945      | 2.4725     | 7.8425     | 2.9075     | 3.96       | 5.70125    | 2.535      | 2.88       | 2.73       | 2.933      | 4.08126667 | 3.15666667 | 3.788      | 3.788      | 3.64       |
| 19  | Bekisting kolom lantai 2        | 8.72375    | 8.72375    | 8.301605   | 6.399      | 7.115      | 7.36734375 | 5.7256     | 5.5516429  | 7.035      | 6.192      | 6.88166667 | 10.0830095 | 11.7644444 | 11.7644444 | 7.504      |
| 20  | Pembesian kolom lantai 2        | 124.535204 | 113.004167 | 129.04348  | 118.800667 | 115.175833 | 111.489583 | 120.528889 | 147.95445  | 115.7325   | 94.4633333 | 122.295833 | 113.40076  | 133.680571 | 129.967232 | 123.446667 |
| 21  | Beton plat lantai+tangga lantai | 9.96214286 | 7.74833333 | 7.2505     | 8.77       | 6.32666667 | 9.056      | 5.5        | 7.965      | 4.90333333 | 4.53033333 | 8.2056     | 11.9766667 | 15.3985714 | 15.3985714 | 9.8        |

Gambar 4.1 Tampilan *Sheet Excel* yang Memuat Data Produktivitas 15 Proyek (*Microsoft Excel, 2021*)

2. Kemudian *block* data yang akan dilakukan pendefinisian distribusi menggunakan *fitted distribution* dan gunakan *tool batch fit* pada *Oracle Crystal Ball*. Setelah itu tekan *run* dan lakukan pemilihan distribusi.

| NO. | ITEM PEKERJAAN                  | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7           | 8          | 9          | 10       |
|-----|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------|
| 1   | Galian tanah sloof dan poer     | 4          | 2.8405     | 2.52044444 | 2.43555556 | 2.96609524 | 2.7587     | 2.15428571  | 2.53392857 | 3.47222222 | 2        |
| 2   | Buang tanah sisa galian         | 3.23208333 | 3.8785     | 4.032      | 2.13333333 | 4.38404762 | 3.065      | 3.33333333  | 3.25       | 3.48125    |          |
| 3   | Urug pasir                      | 3.03118421 | 3.291      | 3.61871429 | 5.08       | 4.831875   | 3.9104     | 3.515625    | 3.15333333 | 3.090625   | 2        |
| 4   | Tiang pancang                   | 18         | 18.6666667 | 18.3333333 | 13.5       | 14.8       | 13.7142857 | 13.7142857  | 13.4285714 | 11.72      | 14.733   |
| 5   | Beton lantai kerja bawah        | 0.85125    | 0.66208333 | 0.875      | 0.70375    | 0.875      | 0.81       | 0.713       | 0.885      | 0.77       | 0        |
| 6   | Beton poer (pilecap)            | 7.08125    | 7.08125    | 4.33       | 4.11666667 | 4.11333333 | 5.46166667 | 4.71466667  | 6.144      | 3.9375     |          |
| 7   | Bekisting poer (pilecap)        | 3.028      | 2.52333333 | 2.5122     | 2.65       | 2.18733333 | 2.33533333 | 2.32066667  | 2.47251429 | 1.11733333 |          |
| 8   | Pembesian poer (pilecap)        | 98.51025   | 98.51025   | 91.381625  | 103.8145   | 103.8145   | 93.0313469 | 78.7052     | 84.01365   | 121.074    | 83       |
| 9   | Beton sloof                     | 8.3975     | 5.59833333 | 3.45       | 4.48       | 3.8775     | 4.53166667 | 3.917       | 5.325      | 4.75       | 2.2333   |
| 10  | Bekisting sloof                 | 11.6013889 | 10.44125   | 9.703125   | 8.4        | 12.052875  | 7.84228571 | 5.7215      | 10.9664    | 9.95625    | 10.7     |
| 11  | Pembesian sloof                 | 119.813265 | 97.8475    | 81.166125  | 90.3414286 | 90.3611    | 90.4145714 | 61.9680267  | 74.9074286 | 87.8586667 | 69.570   |
| 12  | Beton kolom lantai 1            | 8.245      | 4.1225     | 4.9372     | 4.726      | 6.205      | 6.51571429 | 2.505       | 3.822      | 3.755      | 2        |
| 13  | Bekisting kolom lantai 1        | 7.51714286 | 7.016      | 9.37764286 | 9.36       | 9.42857143 | 7.41377778 | 9.54266667  | 6.24       | 11.535     | 3        |
| 14  | Pembesian kolom lantai 1        | 142.2975   | 138.344792 | 177.516682 | 132.575    | 124.9375   | 115.829867 | 120.529156  | 168.744    | 118.087333 | 157.43   |
| 15  | Beton tangga+plat lantai 1      | 10.185     | 6.79       | 5.16125    | 7.925      | 6.625      | 5.4        | 4.6         | 3.32583333 | 4.90333333 | 4.5303   |
| 16  | Bekisting tangga lantai 1       | 10.55      | 7.9125     | 6.35       | 6.85       | 4.217      | 7.68       | 4.61333333  | 2.87833333 | 4.17228571 | 5.3      |
| 17  | Pembesian tangga lantai 1       | 228.565    | 228.565    | 173.736667 | 201.9925   | 223.01     | 183.783333 | 206.25      | 171.576833 | 192.898889 | 212.9    |
| 18  | Beton kolom lantai 2            | 4.945      | 2.4725     | 7.8425     | 2.9075     | 3.36       | 5.70125    | 2.535       | 2.88       | 2.73       | 2        |
| 19  | Bekisting kolom lantai 2        | 8.73275    | 8.73275    | 8.301605   | 6.399      | 7.113      | 7.36734275 | 5.7356      | 5.5516429  | 7.035      | 4        |
| 20  | Pembesian kolom lantai 2        | 134.535204 | 113.004167 | 129.04348  | 118.800667 | 115.175833 | 111.489583 | 120.528889  | 147.95445  | 115.7325   | 94.463   |
| 21  | Beton plat lantai+tangga lantai | 9.96214286 | 7.74833333 | 7.2305     | 8.77       | 6.32666667 | 9.056      | 5.3         | 7.965      | 4.90333333 | 4.5303   |
| 22  | Pembesian plat + tangga lantai  | 60.2609259 | 60.2609259 | 65.6304286 | 67.1645    | 59.2894    | 63.6391837 | 75.81221429 | 74.9431389 | 57.8696667 | 55.45125 |

Gambar 4.2 Tampilan saat akan Melakukan *Batch Fit* (Sumber: Oracle Crystal Ball)

**Batch Fit**

Welcome

**Input Data**

Fitting Options

Output Options

Reports

Select location of data series for fitting

Location of data series:

Orientation

Data in rows

Data in columns

Headers

Top row has labels

Left column has headers

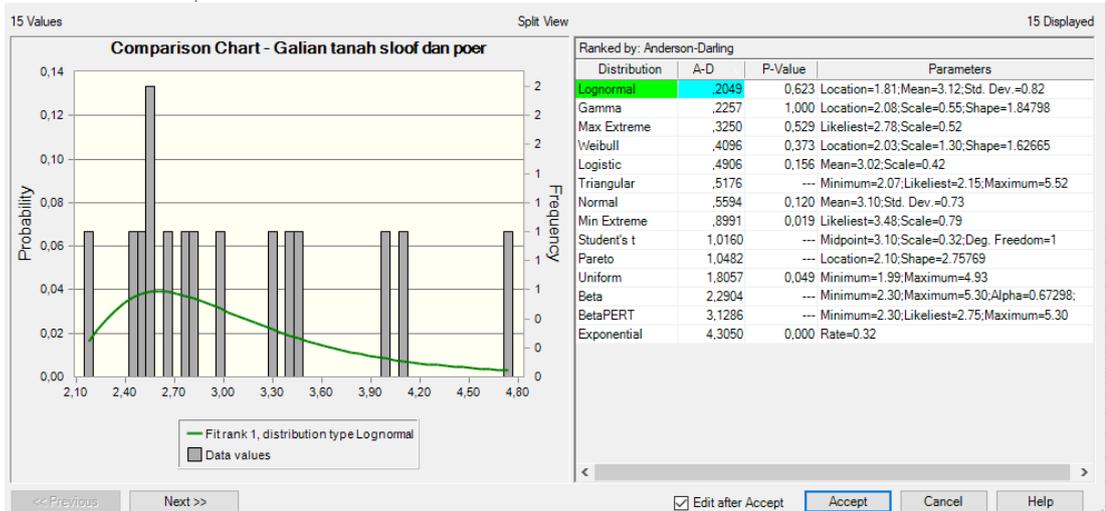
52 data series  
17 columns of data

|    | A   | B                           | C          |
|----|-----|-----------------------------|------------|
| 1  | NO. | ITEM PEKERJAAN              | 1          |
| 2  |     |                             |            |
| 3  | 1   | Galian tanah sloof dan poer | 4          |
| 4  | 2   | Buang tanah sisa galian     | 3.23208333 |
| 5  | 3   | Urug pasir                  | 3.03118421 |
| 6  | 4   | Tiang pancang               | 18         |
| 7  | 5   | Beton lantai kerja bawah    | 0.85125    |
| 8  | 6   | Beton poer (pilecap)        | 7.08125    |
| 9  | 7   | Bekisting poer (pilecap)    | 3.028      |
| 10 | 8   | Pembesian poer (pilecap)    | 98.51025   |
| 11 | 9   | Beton sloof                 | 8.3975     |
| 12 | 10  | Bekisting sloof             | 11.6013889 |
| 13 | 11  | Pembesian sloof             | 119.813265 |
| 14 | 12  | Beton kolom lantai 1        | 8.245      |

< Back    Next >    Run    Cancel    Help

Gambar 4.3 Tampilan untuk Mengatur Jalannya *Fitted Distribution* (Sumber: Oracle Crystal Ball)

- Lakukan pemilihan distribusi dengan menerima distribusi yang *p-value* diatas 5% sesuai dengan *rank* yang diberikan oleh *fitted distribution*.



Gambar 4.4 Tampilan Layar saat Pemilihan Distribusi yang Digunakan untuk Aktivitas Galian Tanah Sloof dan Poer (Sumber: Oracle Crystal Ball)

| Data Series:                | Distribution: | Best Fit: | Anderson-Darling | P-Value: |
|-----------------------------|---------------|-----------|------------------|----------|
| Galian tanah sloof dan poer | 3.12          | Lognormal | 0.2049           | 0.623    |
| Buang tanah sisa galian     | 3.43          | Logistic  | 0.2891           | 0.558    |
| Urug pasir                  | 3.56          | Logistic  | 0.6107           | 0.067    |
| Tiang pancang               | 15.67         | Lognormal | 0.3197           | 0.251    |
| Beton lantai kerja bawah    | 0.75          | Gamma     | 0.7839           | 0.094    |
| Beton poer (pilecap)        | 3.54          | Uniform   | 0.6231           | 0.435    |
| Bekisting poer (pilecap)    | 3.01          | Gamma     | 0.8572           | 0.655    |
| Pembesian poer (pilecap)    | 96.11         | Logistic  | 0.2405           | 0.712    |
| Beton sloof                 | 5.13          | Lognormal | 0.1807           | 0.788    |
| Bekisting sloof             | 10.08         | Weibull   | 0.1553           | 0.931    |
| Pembesian sloof             | 95.3          | Lognormal | 0.1801           | 0.781    |
| Beton kolom Lantai 1        | 5.4           | Lognormal | 0.1985           | 0.630    |
| Bekisting kolom Lantai 1    | 8.5           | Weibull   | 0.3913           | 0.134    |
| Pembesian kolom Lantai 1    | 139.97        | Lognormal | 0.1682           | 0.796    |
| Beton tangga+plat lantai 1  | 6.1           | Lognormal | 0.1544           | 0.879    |
| Bekisting tangga lantai 1   | 7.31          | Lognormal | 0.1951           | 0.672    |
| Pembesian tangga lantai 1   | 208.93        | Weibull   | 0.1951           | 0.770    |
| Beton kolom lantai 2        | 3.31          | Lognormal | 0.1536           | 0.885    |
| Bekisting kolom Lantai 2    | 8.07          | Lognormal | 0.1710           | 0.776    |
| Pembesian kolom lantai 2    | 120.51        | Logistic  | 0.1932           | 0.860    |

Gambar 4.5 Tampilan Layar Hasil Fitted Distribution (Sumber: Oracle Crystal Ball)

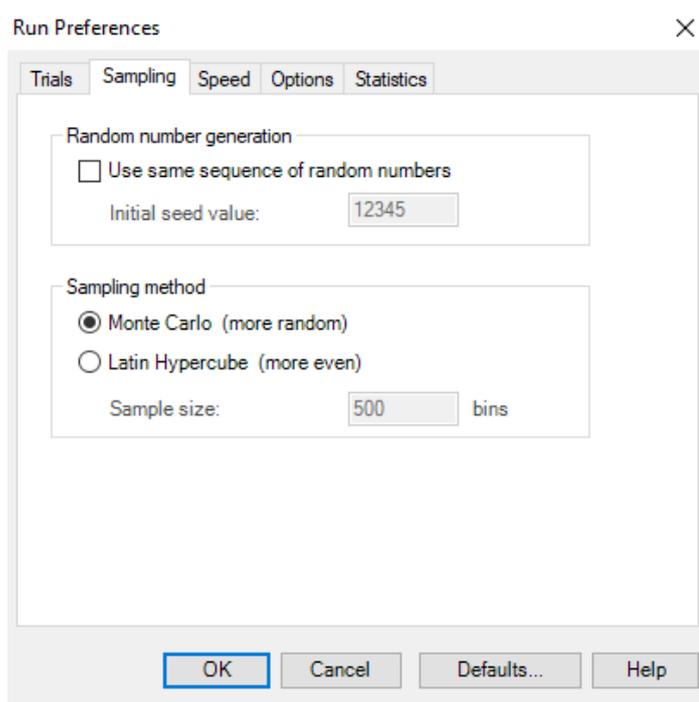
Tabel 4.3 Tabel Rekap Hasil Fitted Distribution Produktivias setiap Aktivitas

| NO | ITEM PEKERJAAN           | FITTED DISTRIBUTION |
|----|--------------------------|---------------------|
| 1  | Bekesting kolom Lantai 1 | Weibull             |
| 2  | Bekesting kolom Lantai 2 | Lognormal           |
| 3  | Bekesting kolom lantai 3 | Lognormal           |
| 4  | Bekesting kolom lantai 4 | Lognormal           |

| <b>NO</b> | <b>ITEM PEKERJAAN</b>             | <b>FITTED DISTRIBUTION</b> |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|
| 5         | Bekesting plat + tangga lantai 2  | Weibull                    |
| 6         | Bekesting plat + tangga lantai 3  | Weibull                    |
| 7         | Bekesting plat atap               | Weibull                    |
| 8         | Bekesting plat lantai 4           | Weibull                    |
| 9         | Bekesting poer (pilecap)          | Gamma                      |
| 10        | Bekesting sloof                   | Weibull                    |
| 11        | Bekesting tangga lantai 1         | Lognormal                  |
| 12        | Bekisting balok atap              | Uniform                    |
| 13        | Bekisting balok lantai 2          | Gamma                      |
| 14        | Bekisting balok lantai 3          | Lognormal                  |
| 15        | Bekisting balok lantai 4          | Lognormal                  |
| 16        | Beton balok lantai 2              | Uniform                    |
| 17        | Beton balok lantai 3              | Max Extreme                |
| 18        | Beton balok lantai 4              | Lognormal                  |
| 19        | Beton kolom Lantai 1              | Max Extreme                |
| 20        | Beton kolom lantai 2              | Lognormal                  |
| 21        | Beton kolom lantai 3              | Lognormal                  |
| 22        | Beton kolom lantai 4              | Max Extreme                |
| 23        | Beton lantai kerja bawah          | Uniform                    |
| 24        | Beton plat lantai 4               | Max Extreme                |
| 25        | Beton plat lantai+tangga lantai 2 | Lognormal                  |
| 26        | Beton plat lantai+tangga lantai 3 | Lognormal                  |
| 27        | Beton poer (pilecap)              | Uniform                    |
| 28        | Beton sloof                       | Lognormal                  |
| 29        | Beton tangga+plat lantai 1        | Gamma                      |
| 30        | Buang tanah sisa galian           | Logistic                   |
| 31        | Galian tanah sloof dan poer       | Lognormal                  |
| 32        | Pasangan bata lantai 1            | Min Extreme                |
| 33        | Pasangan bata lantai 2            | Max Extreme                |
| 34        | Pembesian balok atap              | Weibull                    |
| 35        | Pembesian balok lantai 2          | Lognormal                  |
| 36        | Pembesian balok lantai 3          | Lognormal                  |

| <b>NO</b> | <b>ITEM PEKERJAAN</b>            | <b>FITTED DISTRIBUTION</b> |
|-----------|----------------------------------|----------------------------|
| 37        | Pembesian balok lantai 4         | Max Extreme                |
| 38        | Pembesian kolom Lantai 1         | Lognormal                  |
| 39        | Pembesian kolom lantai 2         | Logistic                   |
| 40        | Pembesian kolom lantai 3         | Lognormal                  |
| 41        | Pembesian kolom lantai 4         | Lognormal                  |
| 42        | Pembesian plat + tangga lantai 2 | Lognormal                  |
| 43        | Pembesian plat + tangga lantai 3 | Lognormal                  |
| 44        | Pembesian plat atap              | Gamma                      |
| 45        | Pembesian plat lantai 4          | Logistic                   |
| 46        | Pembesian poer (pilecap)         | Logistic                   |
| 47        | Pembesian sloof                  | Lognormal                  |
| 48        | Pembesian tangga lantai 1        | Weibull                    |
| 49        | Tiang pancang                    | Lognormal                  |
| 50        | Urug pasir                       | Logistic                   |

4. Setelah di dapatkan jenis distribusi pada masing-masing produktivitas di setiap aktivitas, selanjutnya dilakukan iterasi sebanyak 1000 kali dan diulangi hingga 15 kali. Hasil yang di dapatkan dari iterasi tersebut adalah 15 data *mean* produktivitas pada setiap aktivitasnya. Secara lengkap, hasil dari iterasi tersebut dapat dilihat di Lampiran 28 sampai Lampiran 42



Gambar 4.6 Tampilan saat Mengatur *Seed Number* dan *Number of Trials* (Sumber: Oracle Crystal Ball)

|    | A                   | AF                          | AG                     | AH                     | AI                   | AJ                       | AK                       | AL                       | AM                       |
|----|---------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1  | Statistics          | Galian tanah sloof dan poer | Pasangan bata lantai 1 | Pasangan bata lantai 2 | Pembesian balok atap | Pembesian balok lantai 2 | Pembesian balok lantai 3 | Pembesian balok lantai 4 | Pembesian balok lantai 5 |
| 2  | Trials              | 1000                        | 1000                   | 1000                   | 1000                 | 1000                     | 1000                     | 1000                     | 1000                     |
| 3  | Base Case           | 3.12                        | 7.77                   | 6.87                   | 113.97               | 124.4                    | 132.74                   | 132.2                    | 132.2                    |
| 4  | Mean                | 3.1003813168                | 7.7689881773           | 6.8926735532           | 114.1915571875       | 123.8150955706           | 132.3101170697           | 131.9496933904           | 131.9496933904           |
| 5  | Median              | 2.89                        | 8.03                   | 6.64                   | 115.07               | 122.07                   | 126.86                   | 128.73                   | 128.73                   |
| 6  | Mode                | ---                         | ---                    | ---                    | ---                  | ---                      | ---                      | ---                      | ---                      |
| 7  | Standard Deviation  | 0.81                        | 1.27                   | 1.52                   | 22.2                 | 22.79                    | 21.72                    | 18.33                    | 18.33                    |
| 8  | Variance            | 0.65                        | 1.61                   | 2.32                   | 492.83               | 519.22                   | 471.72                   | 336.02                   | 336.02                   |
| 9  | Skewness            | 2.26                        | -1.07                  | 1.23                   | -0.0014              | 0.6129                   | 2.32                     | 1.33                     | 1.33                     |
| 10 | Kurtosis            | 12.68                       | 4.46                   | 5.55                   | 2.48                 | 3.68                     | 11.63                    | 6.13                     | 6.13                     |
| 11 | Coeff. of Variation | 0.2598                      | 0.1631                 | 0.2212                 | 0.1944               | 0.1840                   | 0.1642                   | 0.1389                   | 0.1389                   |
| 12 | Minimum             | 2.01                        | 1.1                    | 3.79                   | 58.84                | 69.5                     | 106.14                   | 99.43                    | 99.43                    |
| 13 | Maximum             | 9.81                        | 10.47                  | 14.6                   | 177.41               | 214.93                   | 273.92                   | 236.52                   | 236.52                   |
| 14 | Range Width         | 7.8                         | 9.37                   | 10.81                  | 118.58               | 145.43                   | 167.78                   | 137.09                   | 137.09                   |
| 15 | Mean Std. Error     | 0.03                        | 0.04                   | 0.05                   | 0.7                  | 0.72                     | 0.69                     | 0.58                     | 0.58                     |
| 16 |                     |                             |                        |                        |                      |                          |                          |                          |                          |
| 17 |                     |                             |                        |                        |                      |                          |                          |                          |                          |

Gambar 4.7 Tampilan Hasil *Run* Pertama Produktivitas (Sumber: Microsoft Excel)

- Setelah mendapat 15 data mean produktivitas dari masing-masing aktivitas, kemudian mean tersebut diolah menjadi durasi probabilistik menggunakan persamaan 4.2. Secara lengkap, hasil dari pengolahan ini dapat dilihat pada Lampiran 28 sampai Lampiran 42.

|                    | AF                          | AG                     | AH                     | AI                   | AJ                       | AK                       | AL                       |
|--------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 Statistics       | Galian tanah sloof dan poer | Pasangan bata lantai 1 | Pasangan bata lantai 2 | Pembesian balok atap | Pembesian balok lantai 2 | Pembesian balok lantai 3 | Pembesian balok lantai 4 |
| 2 Trials           | 1000                        | 1000                   | 1000                   | 1000                 | 1000                     | 1000                     | 1000                     |
| 3 Base Case        | 3.12                        | 7.77                   | 6.87                   | 113.97               | 124.4                    | 132.74                   | 132.2                    |
| 4 Mean             | 3.1003813168                | 7.7689881773           | 6.8926735532           | 114.1915571875       | 123.8150955706           | 132.3101170697           | 131.9496932904           |
| 12 Minimum         | 2.01                        | 1.1                    | 3.79                   | 58.84                | 69.5                     | 106.14                   | 99.43                    |
| 13 Maximum         | 9.81                        | 10.47                  | 14.6                   | 177.41               | 214.99                   | 273.92                   | 236.52                   |
| 14 Range Width     | 7.8                         | 9.37                   | 10.81                  | 118.58               | 145.43                   | 167.78                   | 137.09                   |
| 15 Mean Std. Error | 0.03                        | 0.04                   | 0.05                   | 0.7                  | 0.72                     | 0.69                     | 0.58                     |
| 20 Data Series:    | b1                          | j1                     | j2                     | h4                   | e9                       | f9                       | g9                       |
| 21 VOLUME          | 284.05                      | 950                    | 676.5                  | 3103.84              | 6750.88                  | 7229.46                  | 7563.4                   |
| 22 JUMLAH TK       | 6                           | 6                      | 6                      | 4                    | 8                        | 8                        | 8                        |
| 23 DURASI          | 15.26962713                 | 20.38017432            | 16.35794864            | 6.795248433          | 6.815485593              | 6.830033258              | 7.16504128               |

Gambar 4. 8 Tampilan Layar Setelah Mean Produktivitas Diolah Menjadi Durasi (Sumber: Microsoft Excel)

- Selanjutnya, dilakukan perhitungan durasi menggunakan metode *Critical Path Method* dengan menghitung kemungkinan-kemungkinan jalur kritis. Terdapat 604 kemungkinan jalur kritis dan dari 604 kemungkinan tersebut hanya ada 1 jalur kritis yang sama. Jalur kritis tersebut terletak pada aktivitas:  
START-C1-B1-C2-C4-D3-D2-D1-E6-E5-E7-E2-E1-F6-F5-D5-D6-D4-J1-J2-H2-END  
Total durasi terpendek dari jalur kritis tersebut adalah 171,7557 hari  $\approx$  172 hari. Jalur kritis pada perhitungan dengan menggunakan durasi MCS berbeda dengan perhitungan durasi deterministik pada kurva s.  
Perhitungan durasi, kemungkinan jalur kritis, dan *network digram* dapat dilihat pada lampiran 43 dan lampiran 44.
- 15 Data yang sudah dihitung di tahap kelima, kemudian dijadikan satu di dalam 1 *sheet* untuk mencari jenis distribusinya menggunakan *fitted distribution*. Proses *fitted distribution* dilakukan dengan cara seperti pada saat melakukan *fitted distribution* untuk produktivitas pekerjaan (langkah 1-3).

Tabel 4.4 Tabel Rekap Hasil *Fitted Distribution* pada Durasi Aktivitas Pekerjaan

| NO | ITEM PEKERJAAN           | FITTED DISTRIBUTION |
|----|--------------------------|---------------------|
| 1  | Bekesting kolom Lantai 1 | Weibull             |
| 2  | Bekesting kolom Lantai 2 | Weibull             |
| 3  | Bekesting kolom lantai 3 | Weibull             |
| 4  | Bekesting kolom lantai 4 | Uniform             |

| <b>NO</b> | <b>ITEM PEKERJAAN</b>             | <b>FITTED DISTRIBUTION</b> |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|
| 5         | Bekesting plat + tangga lantai 2  | Weibull                    |
| 6         | Bekesting plat + tangga lantai 3  | Lognormal                  |
| 7         | Bekesting plat atap               | Weibull                    |
| 8         | Bekesting plat lantai 4           | Lognormal                  |
| 9         | Bekesting poer (pilecap)          | Weibull                    |
| 10        | Bekesting sloof                   | Logistic                   |
| 11        | Bekesting tangga lantai 1         | Weibull                    |
| 12        | Bekisting balok atap              | Lognormal                  |
| 13        | Bekisting balok lantai 2          | Weibull                    |
| 14        | Bekisting balok lantai 3          | Logistic                   |
| 15        | Bekisting balok lantai 4          | Lognormal                  |
| 16        | Beton balok lantai 2              | Weibull                    |
| 17        | Beton balok lantai 3              | Weibull                    |
| 18        | Beton balok lantai 4              | Weibull                    |
| 19        | Beton kolom Lantai 1              | Min Extreme                |
| 20        | Beton kolom lantai 2              | Weibull                    |
| 21        | Beton kolom lantai 3              | Logistic                   |
| 22        | Beton kolom lantai 4              | Logistic                   |
| 23        | Beton lantai kerja bawah          | Min Extreme                |
| 24        | Beton plat lantai 4               | Logistic                   |
| 25        | Beton plat lantai+tangga lantai 2 | Uniform                    |
| 26        | Beton plat lantai+tangga lantai 3 | Lognormal                  |
| 27        | Beton poer (pilecap)              | Weibull                    |
| 28        | Beton sloof                       | Uniform                    |
| 29        | Beton tangga                      | Max Extreme                |
| 30        | Buang tanah sisa galian           | Weibull                    |
| 31        | Galian tanah sloof dan poer       | Lognormal                  |
| 32        | Pasangan bata lantai 1            | Min Extreme                |
| 33        | Pasangan bata lantai 2            | Logistic                   |
| 34        | Pembesian balok atap              | Weibull                    |
| 35        | Pembesian balok lantai 2          | Weibull                    |

| NO | ITEM PEKERJAAN                   | FITTED DISTRIBUTION |
|----|----------------------------------|---------------------|
| 36 | Pembesian balok lantai 3         | Min Extreme         |
| 37 | Pembesian balok lantai 4         | Lognormal           |
| 38 | Pembesian kolom Lantai 1         | Uniform             |
| 39 | Pembesian kolom lantai 2         | Logistic            |
| 40 | Pembesian kolom lantai 3         | Lognormal           |
| 41 | Pembesian kolom lantai 4         | Logistic            |
| 42 | Pembesian plat + tangga lantai 2 | Min Extreme         |
| 43 | Pembesian plat + tangga lantai 3 | Logistic            |
| 44 | Pembesian plat atap              | Logistic            |
| 45 | Pembesian plat lantai 4          | Logistic            |
| 46 | Pembesian poer (pilecap)         | Lognormal           |
| 47 | Pembesian sloof                  | Max Extreme         |
| 48 | Pembesian tangga lantai 1        | Min Extreme         |
| 49 | Tiang pancang                    | Lognormal           |
| 50 | Urug pasir                       | Min Extreme         |

8. Setelah di dapatkan jenis distribusi pada masing-masing durasi di setiap aktivitas, selanjutnya dilakukan perhitungan ES, EF, dan total durasi berdasarkan hubungan aktivitas pada proyek Ruko X. Perhitungan ini dilakukan pada lantai data total durasi terkecil dari 15 data durasi probabilistik. Data durasi terkecil tersebut berada di data ke-12 (hasil *run* produktivitas ke-12).

|    | B                  | C                        | D                        | E                        | F                        | G                                | H                                |                     |
|----|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| 1  | Statistics         | Bekesting kolom Lantai 1 | Bekesting kolom Lantai 2 | Bekesting kolom lantai 3 | Bekesting kolom lantai 4 | Bekesting plat + tangga lantai 2 | Bekesting plat + tangga lantai 3 | Bekesting plat atap |
| 2  | Trials             | 1000                     | 1000                     | 1000                     | 1000                     | 1000                             | 1000                             | 1000                |
| 3  | Base Case          | 8.5                      | 8.02                     | 8.38                     | 8.96                     | 10.21                            | 11.55                            | 14.54               |
| 4  | Mean               | 8.46                     | 7.97                     | 8.34                     | 9.05                     | 10.2                             | 11.56                            | 14.63               |
| 7  | Standard Deviation | 1.65                     | 2.3                      | 2.47                     | 2.42                     | 2.03                             | 1.34                             | 8.88                |
| 12 | Minimum            | 4.8                      | 5.06                     | 4.92                     | 4.24                     | 5.54                             | 8.05                             | -27.72              |
| 13 | Maximum            | 14.21                    | 29.56                    | 33.59                    | 20.74                    | 17.35                            | 16.8                             | 33.86               |
| 19 |                    | d2                       | e2                       | f2                       | g2                       | e6                               | f6                               | h1                  |
| 20 | Data Series:       | Bekesting kolom Lantai 1 | Bekesting kolom Lantai 2 | Bekesting kolom lantai 3 | Bekesting kolom lantai 4 | Bekesting plat + tangga lantai 2 | Bekesting plat + tangga lantai 3 | Bekesting plat atap |
| 21 | VOLUME             | 350.8                    | 209.37                   | 260.75                   | 300.42                   | 420.18                           | 509.73                           | 367.34              |
| 22 | JUMLAH TK          | 5                        | 4                        | 4                        | 4                        | 5                                | 5                                | 3                   |
| 23 | DURASI             | 8.292834316              | 6.569370561              | 7.81318614               | 8.302808549              | 8.239075212                      | 8.817769091                      | 8.369479952         |
| 24 | ES                 | 56.51581964              | 85.68942292              | 106.6297088              | 132.0992617              | 65.80543905                      | 93.10882007                      | 141.3589461         |
| 25 | EF                 | 64.80865395              | 92.25879348              | 114.442895               | 140.4020703              | 74.04451426                      | 101.9265892                      | 149.728426          |
| 26 | TOTAL DURASI       | 172.0840952              |                          |                          |                          |                                  |                                  |                     |

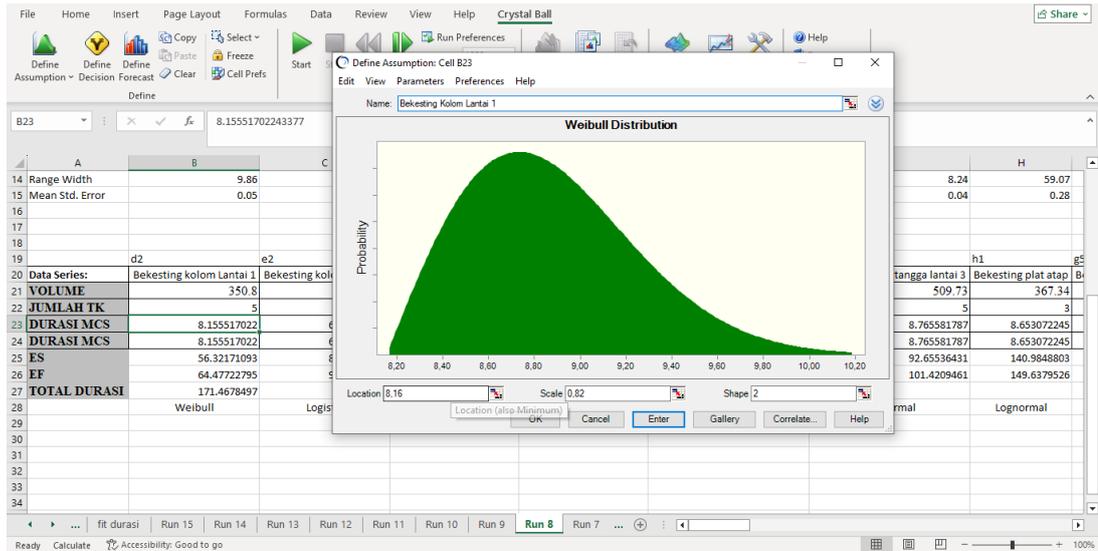
Gambar 4.9 Tampilan Setelah Dilakukan Perhitungan ES, EF, dan Total Durasi (Sumber: *Microsoft Excel*)

Tabel 4. 5 Durasi Terkecil dari 15 Data Durasi

| NO | ITEM PEKERJAAN                    | DURASI (HARI) |
|----|-----------------------------------|---------------|
| 1  | Bekesting kolom Lantai 1          | 8.279543974   |
| 2  | Bekesting kolom Lantai 2          | 6.403546684   |
| 3  | Bekesting kolom lantai 3          | 7.704427032   |
| 4  | Bekesting kolom lantai 4          | 8.449423127   |
| 5  | Bekesting plat + tangga lantai 2  | 8.223331848   |
| 6  | Bekesting plat + tangga lantai 3  | 8.824426535   |
| 7  | Bekesting plat atap               | 6.812471206   |
| 8  | Bekesting plat lantai 4           | 6.586961169   |
| 9  | Bekesting poer (pilecap)          | 5.066468448   |
| 10 | Bekesting sloof                   | 10.42413457   |
| 11 | Bekesting tangga lantai 1         | 3.42907735    |
| 12 | Bekisting balok atap              | 5.700323608   |
| 13 | Bekisting balok lantai 2          | 5.425339869   |
| 14 | Bekisting balok lantai 3          | 7.092199529   |
| 15 | Bekisting balok lantai 4          | 7.57384382    |
| 16 | Beton balok lantai 2              | 1.419058275   |
| 17 | Beton balok lantai 3              | 1.470694143   |
| 18 | Beton balok lantai 4              | 1.575951184   |
| 19 | Beton kolom Lantai 1              | 0.972962586   |
| 20 | Beton kolom lantai 2              | 0.851484787   |
| 21 | Beton kolom lantai 3              | 1.037803122   |
| 22 | Beton kolom lantai 4              | 0.930063533   |
| 23 | Beton lantai kerja bawah          | 5.441631806   |
| 24 | Beton plat lantai 4               | 0.994726258   |
| 25 | Beton plat lantai+tangga lantai 2 | 1.066092733   |
| 26 | Beton plat lantai+tangga lantai 3 | 1.218531503   |
| 27 | Beton poer (pilecap)              | 1.702711547   |
| 28 | Beton sloof                       | 1.155406411   |
| 29 | Beton tangga+plat lantai 1        | 1.403235725   |
| 30 | Buang tanah sisa galian           | 7.417653746   |

| NO | ITEM PEKERJAAN                   | DURASI (HARI) |
|----|----------------------------------|---------------|
| 31 | Galian tanah sloof dan poer      | 15.07733189   |
| 32 | Pasangan bata lantai 1           | 20.38105121   |
| 33 | Pasangan bata lantai 2           | 16.16423796   |
| 34 | Pembesian balok atap             | 6.821739121   |
| 35 | Pembesian balok lantai 2         | 6.822533797   |
| 36 | Pembesian balok lantai 3         | 6.794184909   |
| 37 | Pembesian balok lantai 4         | 7.170937832   |
| 38 | Pembesian kolom Lantai 1         | 9.429653673   |
| 39 | Pembesian kolom lantai 2         | 5.62811534    |
| 40 | Pembesian kolom lantai 3         | 6.247657945   |
| 41 | Pembesian kolom lantai 4         | 6.390666296   |
| 42 | Pembesian plat + tangga lantai 2 | 10.22695357   |
| 43 | Pembesian plat + tangga lantai 3 | 13.57972207   |
| 44 | Pembesian plat atap              | 8.63215676    |
| 45 | Pembesian plat lantai 4          | 9.86446095    |
| 46 | Pembesian poer (pilecap)         | 8.180289159   |
| 47 | Pembesian sloof                  | 8.150729914   |
| 48 | Pembesian tangga lantai 1        | 6.561792281   |
| 49 | Tiang pancang                    | 21.38804524   |
| 50 | Urug pasir                       | 10.83015487   |

9. Setelah mendapat data durasi probabilitik terkecil, kemudian dilakukan *define distribution* berdasarkan hasil *fitted distribution* durasi probabilitik dan juga *define forecast* pada *cell* total durasi. *Cell* akan berwarna hijau setelah dilakukan pendefinisian distribusi dan *cell* akan berwarna biru setelah dilakukan pendefinisian *forecast*.

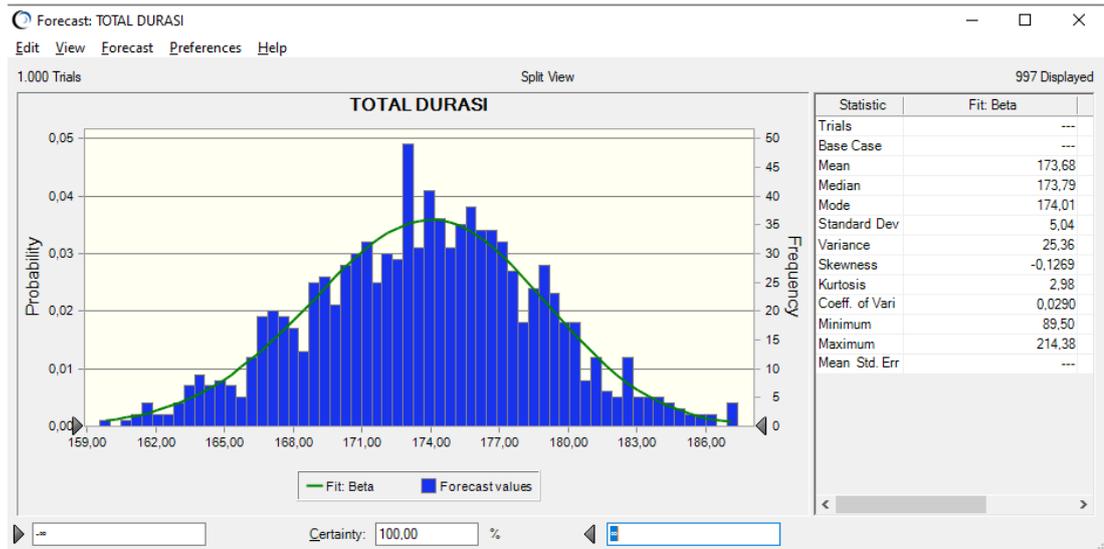


Gambar 4.10 Tampilan pada saat *Define Distribution* pada Aktivitas Kolom Lantai 1 (Sumber: Oracle Crystal Ball)

| Statistics      | Bekesting kolom Lantai 1 | Bekesting kolom Lantai 2 | Bekesting kolom lantai 3 | Bekesting kolom lantai 4 | Bekesting plat + tangga lantai 2 | Bekesting plat + tangga lantai 3 | Bekesting plat atap |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Trials          | 1000                     | 1000                     | 1000                     | 1000                     | 1000                             | 1000                             | 1000                |
| Base Case       | 8.5                      | 8.02                     | 8.38                     | 8.96                     | 10.21                            | 11.55                            | 14.54               |
| Mean            | 8.6                      | 8.03                     | 8.43                     | 9.01                     | 10.2                             | 11.63                            | 14.15               |
| Minimum         | 4.16                     | 5.11                     | 4.99                     | 3.5                      | 5.75                             | 7.83                             | -27.43              |
| Maximum         | 14.02                    | 21.95                    | 35.17                    | 21.34                    | 17.17                            | 16.07                            | 31.64               |
| Range Width     | 9.86                     | 16.84                    | 30.18                    | 17.83                    | 11.42                            | 8.24                             | 59.07               |
| Mean Std. Error | 0.05                     | 0.07                     | 0.09                     | 0.08                     | 0.07                             | 0.04                             | 0.28                |
| Data Series:    | Bekesting kolom Lantai 1 | Bekesting kolom Lantai 2 | Bekesting kolom lantai 3 | Bekesting kolom lantai 4 | Bekesting plat + tangga lantai 2 | Bekesting plat + tangga lantai 3 | Bekesting plat atap |
| DURASI MCS      | 8.155517022              | 6.317800368              | 7.730115956              | 8.332637258              | 8.241096933                      | 8.765581787                      | 8.653072245         |
| ES              | 56.32171093              | 85.31061736              | 105.9213779              | 131.7157554              | 65.44470413                      | 92.65536431                      | 140.9848803         |
| EF              | 64.47722795              | 91.82841773              | 113.6514939              | 140.0483927              | 73.68574106                      | 101.4209461                      | 149.6379526         |
| TOTAL DURASI    | 171.4678497              |                          |                          |                          |                                  |                                  |                     |
|                 | Weibull                  | Logistic                 | Weibull                  | Lognormal                | Lognormal                        | Lognormal                        | Lognormal           |

Gambar 4.11 Tampilan Setelah Dilakukan *Define Distribution* pada Cell Durasi dan *Define Forecast* pada Cell Total Durasi (Sumber: Oracle Crystal Ball)

10. Kemudian pada tahap terakhir dilakukan perhitungan durasi total proyek menggunakan simulasi MCS (*run simulasi*) untuk mendapatkan model penjadwalan pembangunan ruko dengan jumlah iterasi 1000 kali.

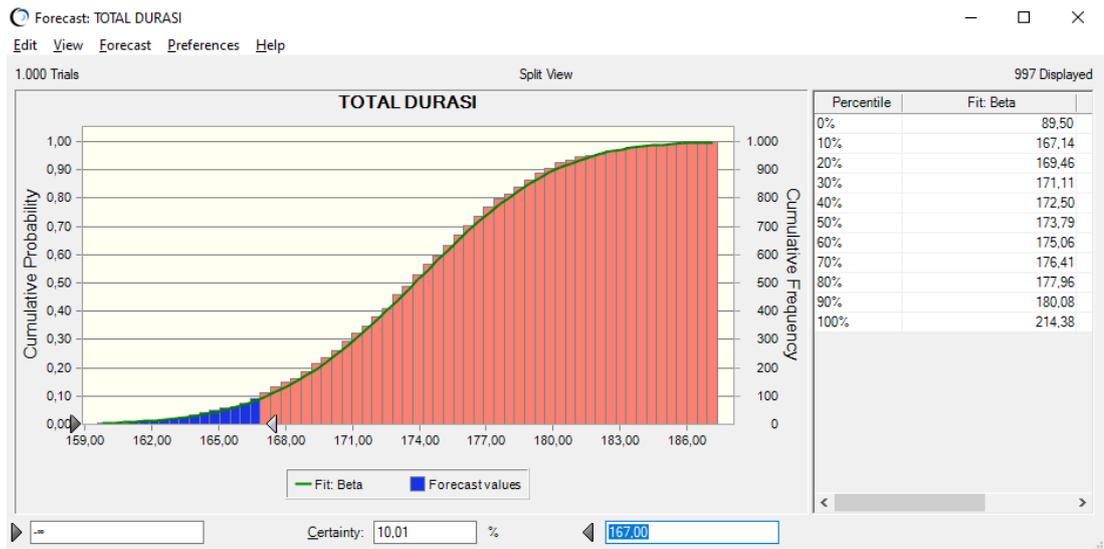


Gambar 4.12 Hasil MCS pada Durasi Proyek Ruko X Menggunakan *Fitted Distribution* dengan 1000 kali Iterasi (Sumber: Oracle Crystal Ball)

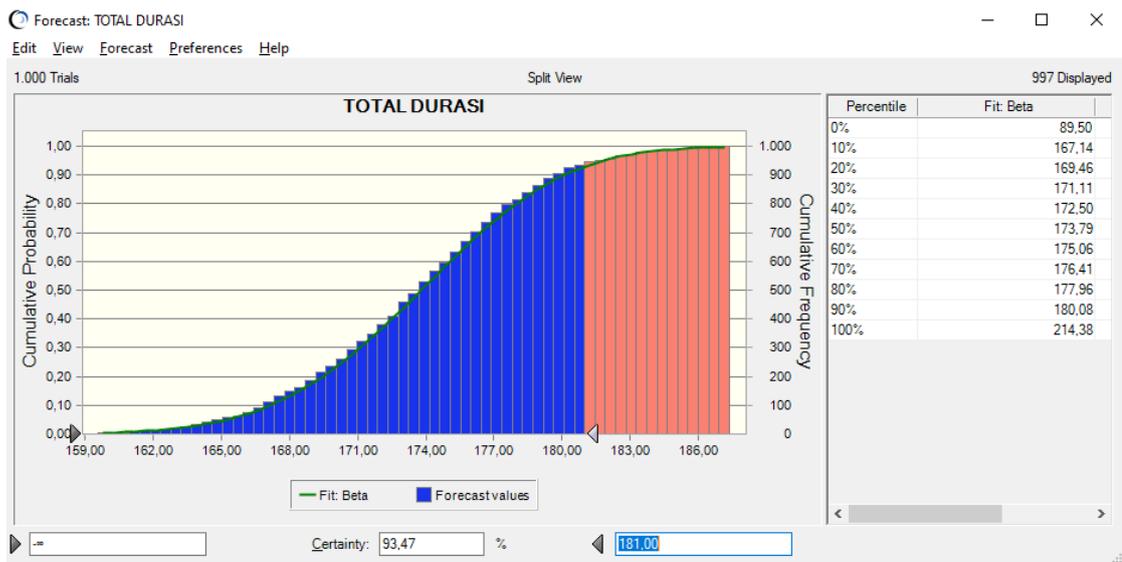
Berdasarkan grafik tersebut, menunjukkan hasil simulasi sebagai berikut:

- Minimum durasi = 156,55 hari  $\approx$  157 hari
- Maksimum durasi = 195,65 hari  $\approx$  196 hari
- Mean = 174,39 hari  $\approx$  175 hari
- Standar deviasi = 5,61 hari  $\approx$  6 hari

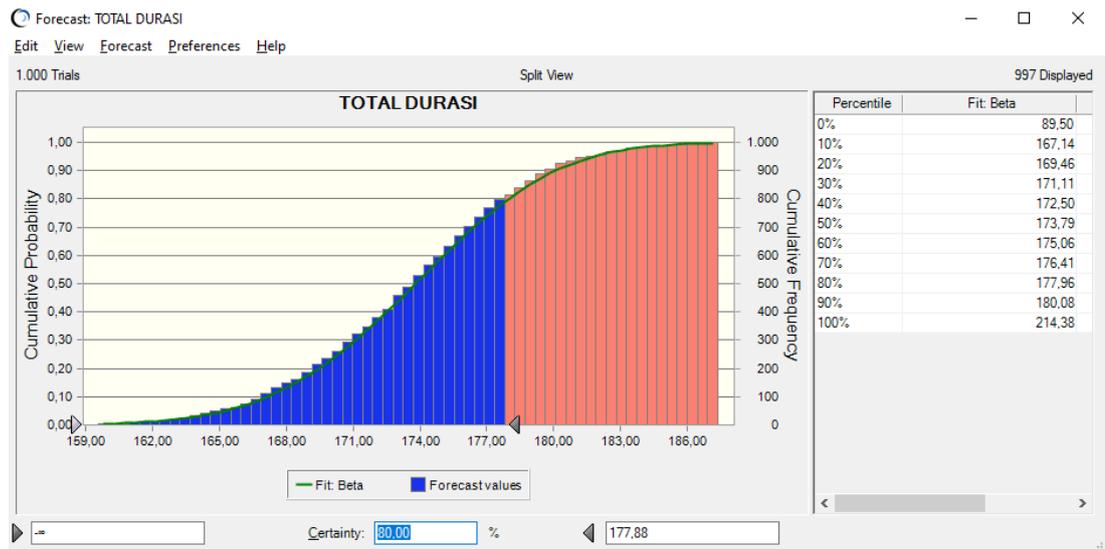
Kemudian setelah mendapatkan durasi menggunakan MCS dengan *fitted distribution*, selanjutnya hasil tersebut dibandingkan dengan total durasi rencana dan total durasi aktual pada proyek Ruko X. Total durasi rencana pada proyek Ruko X adalah 167 hari yaitu sebesar 10,01% kemungkinan proyek tersebut selesai dengan durasi tersebut. Sedangkan total durasi aktual pada proyek Ruko X adalah 181 hari yaitu sebesar 93,47 % kemungkinan proyek tersebut selesai dengan durasi tersebut. Sebagai informasi tambahan, apabila perencana ingin mempunyai kemungkinan 80% penyelesaian waktu konstruksi itu tepat, maka didapatkan durasi total penyelesaian yaitu 177,88 hari  $\approx$  178 hari.



Gambar 4.13 Probabilitas Penyelesaian proyek Menggunakan *Schedule* Rencana (Sumber: Oracle Crystal Ball)

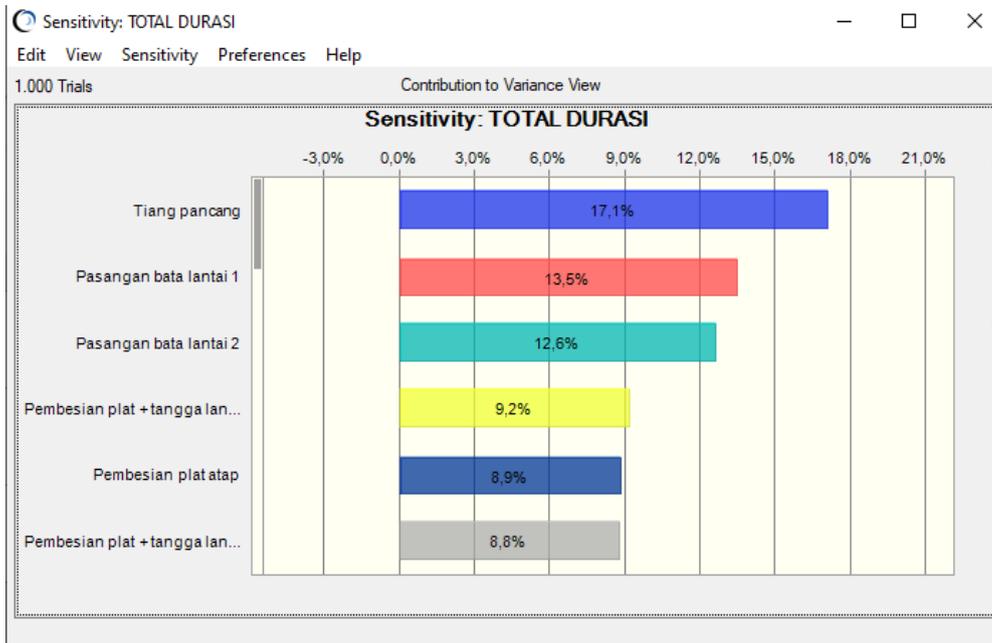


Gambar 4.14 Probabilitas Penyelesaian Proyek Menggunakan *Schedule* Aktual (Sumber: Oracle Crystal Ball)



Gambar 4.15 Durasi Kemungkinan 80% Penyelesaian Waktu Konstruksi Tepat (Sumber: Oracle Crystal Ball)

Proses terakhir dari rangkaian simulasi ini adalah analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana perubahan dalam input mempengaruhi output model, membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik, dan meningkatkan pemahaman serta manajemen risiko terkait dengan ketidakpastian dalam model. Hasil *sensitivity chart* berikut menunjukkan bahwa pekerjaan pemasangan bata lantai 1, pekerjaan tiang pancang, dan pekerjaan pasangan bata lantai 2 mempunyai koefisien korelasi yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena aktivitas tersebut adalah aktivitas paling awal dan paling akhir sehingga apabila mengalami keterlambatan, maka akan berdampak ke seluruh aktivitas pekerjaan. Salah satu aktivitas yang memiliki sensitivitas tinggi pada proyek Ruko X adalah aktivitas tiang pancang dan aktivitas tersebut mengalami keterlambatan. Hal ini dikarenakan terdapat tiang pancang yang patah saat proses injeksi tiang pancang sehingga terdapat pekerjaan tambahan yang tidak diperhitungkan pada saat perencanaan dan menyebabkan keterlambatan proyek.



Gambar 4.16 Sensitivity Chart Total Durasi Proyek (Sumber: Oracle Crystal Ball)

#### 4.6 Analisa Perbandingan Hasil Estimasi Durasi Proyek X Secara Deterministik (CPM) dengan Estimasi Durasi Proyek X Secara Probabilistik (MCS)

Pada sub bab sebelumnya telah dilakukan perhitungan durasi pekerjaan proyek Ruko X menggunakan metode penjadwalan yang bersifat deterministik dan probabilistik. Selain itu juga telah dilakukan perbandingan hasilnya. Ringkasan hasil perbandingan penjadwalan yang telah dilakukan ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Ringkasan Hasil Durasi Deterministik dan Probabilistik

| JENIS DATA | TOTAL DURASI (HARI) | PROBABILITAS | PROBABILITAS 80% PENYELESAIAN PROYEK RUKO X (HARI) |
|------------|---------------------|--------------|--|
| Rencana    | 167                 | 10,01%       | 177,88 ≈ 178                                       |
| Aktual     | 181                 | 93,47%       |  |

Pada tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa perencanaan jadwal secara deterministik perlu dipertimbangkan kembali. Hal ini dikarenakan probabilitas penyelesaian proyek berdasarkan *schedule* rencana sangat rendah, yaitu sebesar 10,01%. Presentase

tersebut dapat dikatakan bahwa rencana *schedule* proyek sangat optimis. Sedangkan probabilitas penyelesaian proyek aktual yaitu sebesar 93,47%, dimana nilai ini sudah mempertimbangkan ketidakmungkinan yang terjadi. Ketidakmungkinan tersebut berdasarkan data aktual penjadwalan proyek historis. Oleh karena itu, sangat penting bagi rencana saat merencanakan penjadwalan proyek dengan mempertimbangkan berbagai ketidakpastian yang terjadi pada proyek.