

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

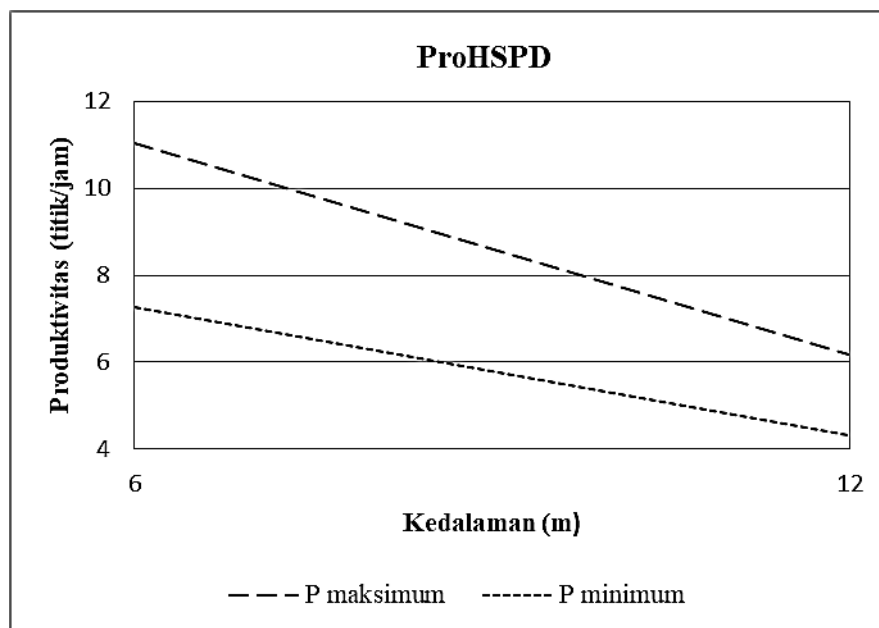
#### **3.1 *Output Yang Akan Dhasilkan***

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan pola berpikir secara deduktif, sehingga dapat dilakukan dengan metode observasi. Penelitian terapan dapat digunakan untuk memecahkan masalah yang dihadapi sehari-hari, dan untuk memahami sesuatu yang bersifat praktis. Pola berpikir secara deduktif dimulai dari kasus-kasus umum menuju kesimpulan khusus. Metode penelitian observasi dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan terhadap obyek yang diteliti untuk mengumpulkan data.

Penelitian ini dilakukan pada pekerjaan pemancangan di beberapa lokasi pemancangan yang memiliki perbedaan ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus. Penelitian ini akan membuat bentuk grafik produktivitas *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B terhadap kedalaman pemancangan. Bentuk grafik mengacu pada grafik produksi *bulldozer* sebagai *benchmark*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2-6 pada bab sebelumnya, dan selanjutnya diusulkan menjadi grafik produktivitas *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B yang diberi nama *ProHSPD*. *Bulldozer* bekerja dengan mendorong material sampai jarak tertentu secara horizontal. *Hydraulic static pile driver* bekerja dengan menekan vertikal sampai suatu kedalaman. Produksi kedua alat ini sama-sama dipengaruhi oleh dimensi panjang. Jarak dorong *bulldozer* dengan satuan panjang dan kedalaman pemancangan juga dengan satuan panjang. Material yang didorong sebagai produksi *bulldozer* dan material yang ditekan sebagai produksi *HSPD*. Kesamaan itu dipakai sebagai rujukan pembentukan grafik dalam penelitian ini.

Keunggulan grafik produksi *bulldozer* itu (Gambar 2-6 pada sub bab 2.2) adalah dapat digunakan sebagai acuan perencanaan produksi alat, dapat memberi gambaran bagi perencana untuk merencanakan pekerjaan, dan menjadi suatu standar yang dapat dipercaya. Hasil dari grafik dikalikan dengan faktor koreksi yang sesuai untuk menghitung produksi rencana alat pada pekerjaan yang akan dilaksanakan. Faktor koreksi meliputi faktor koreksi: operator, jenis material, cara kerja alat, kondisi jarak pengelihatannya, dan efisiensi kerja. Ketepatan prediksi juga tergantung pada kemampuan perencana memperkirakan besarnya faktor koreksi.

Kekurangan grafik tersebut (Gambar 2-6 pada sub bab 2.2) adalah grafik hanya menunjukkan produksi maksimum tanpa menunjukkan posisi minimum. Jika batas produksi minimum juga diberikan, maka grafik akan lebih meyakinkan untuk digunakan. Hal ini karena dimungkinkan diperoleh hasil pelaksanaan pekerjaan di bawah batas produksi minimum yang diberikan. Selain itu, jika diberikan batas minimumnya, pemilik alat dapat mengoreksi keberadaan alatnya apakah masih efektif dioperasikan atau tidak, sehingga dapat diambil tindakan yang tepat. Keunggulan dan kekurangan grafik tersebut, dirujuk dan dipertimbangkan untuk membuat bentuk ProHSPD, yang ditunjukkan pada Gambar 3-1. Penelitian ini akan membuat ProHSPD terhadap kedalaman pemancangan yang menginformasikan secara jelas batas maksimum dan minimum produktivitas *HSPD*. Batas maksimum dan minimum diperoleh dari perkalian hasil model dengan suatu faktor.



Gambar 3-1. Rancangan Bentuk ProHSPD

### 3.2 Variabel dan Instrumen Penelitian

Variabel penelitian merupakan variabel-variabel yang mempengaruhi produktivitas dalam penelitian ini. Instrumen penelitian merupakan perangkat atau cara untuk mengumpulkan data. Bagian ini akan menjelaskan variabel penelitian dan instrumen penelitian secara terpisah.

### 3.2.1 Variabel Penelitian

Merujuk pada sub bab 2.7, maka variabel produktivitas yang digunakan dalam penelitian ini dibedakan menjadi 2, yaitu variabel langsung dan variabel tidak langsung. Variabel yang langsung digunakan dalam penelitian ini meliputi:

#### 1) Ukuran tiang pancang

Perencanaan pondasi tiang pancang dapat menggunakan berbagai ukuran tiang pancang tergantung beban rencana. Ukuran tiang pancang meliputi ukuran penampang dan panjang tiang pancang. Pada konstruksi bangunan bertingkat menengah (2 – 4 lantai) biasanya menggunakan *mini pile* dengan ukuran penampang  $\Delta 32 \times 32 \times 32$  cm,  $\square 20 \times 20$  cm,  $\square 25 \times 25$  cm dan  $\square 30 \times 30$  cm. Panjang tiang pancang yang digunakan disesuaikan dengan kedalaman pemancangan dengan meminimalkan sambungan tiang pancang. Perbedaan ukuran tiang pancang memberikan perbedaan perlawanan tanah saat pemancangan yang selanjutnya mempengaruhi produktivitas pemancangan, sehingga ukuran tiang pancang sebagai variabel penelitian. Data-data ukuran tiang pancang diperlukan untuk menganalisis perbedaan produktivitas yang diterapkan padanya. Data-data tersebut diperoleh dari observasi lapangan pada proyek pemancangan.

#### 2) Kedalaman pemancangan

Perencanaan pondasi tiang pancang dengan sistem *end bearing* akan memancarkan tiang pancang sampai lapisan tanah keras, yang mampu mendukung beban rencana. Letak tanah keras bervariasi pada tiap-tiap lokasi, karena perbedaan karakteristik tanah, sehingga berbeda kedalaman pemancangannya. Perbedaan kedalaman pemancangan ini membutuhkan waktu tekan yang berbeda-beda, selanjutnya mempengaruhi produktivitas pemancangan, sehingga kedalaman pemancangan sebagai variabel penelitian. Data-data kedalaman pemancangan diperlukan untuk menganalisis perbedaan produktivitas pemancangan yang diterapkan padanya. Data-data tersebut diperoleh dari observasi lapangan pada proyek pemancangan.

#### 3) Waktu siklus

Aktivitas pemancangan dari awal sampai akhir pemancangan pada satu titik pancang merupakan waktu siklus pemancangan. Besarnya waktu siklus selain dipengaruhi oleh kedalaman pemancangan, juga dipengaruhi oleh: kondisi lapangan, kondisi peralatan, dan psikologis operator dan pekerja. Perbedaan waktu siklus akibat variabel-variabel lainnya memberikan pengaruh produktivitas pemancangan, sehingga waktu siklus

sebagai variabel penelitian. Data-data waktu siklus diperlukan untuk menganalisis perbedaan produktivitas pemancangan. Data-data tersebut diperoleh dari observasi lapangan pada proyek pemancangan.

Variabel-variabel yang tidak digunakan langsung dalam penelitian ini, namun digunakan asumsi-asumsi adalah sebagai berikut:

1) Jenis tanah

Jenis tanah mempengaruhi waktu tekan alat pancang untuk memasukkan tiang pancang ke dalam tanah. Jenis tanah dalam penelitian ini heterogen antara pasir, lanau, dan lempung dengan daya dukung yang hampir sama, sehingga perbedaan waktu tekan tersebut tidak signifikan. Keterbatasan data dan pengetahuan penulis, sehingga pengaruh jenis tanah terhadap produktivitas *HSPD* tidak dapat dijelaskan secara detail. Oleh karena itu, jenis tanah diasumsikan sama yaitu pasir kelanauan, lanau kepasiran, lanau kelempungan, dan lempung kelanauan dengan komposisi tertentu dan daya dukung yang hampir sama.

2) Pola pemancangan atau sistem kepala tiang (*pile caps*)

Pola pemancangan atau sistem kepala tiang pada bangunan gedung dan bangunan sipil berbeda susunan tiang pancangnya, namun jarak antar tiang pancang relatif sama (antara 60 – 70 cm), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19 sub bab 2.7. Pada bangunan gedung menggunakan susunan kepala tiang yang terpisah-pisah dengan jarak tertentu (lebih dari 3 m). Penelitian dilakukan pada bangunan gedung untuk beberapa *pile caps*. Waktu pindah alat antar *pile caps* dipisahkan untuk dipertimbangkan sebagai waktu tambahan pelaksanaan konstruksi secara keseluruhan, karena waktu tersebut berbeda signifikan dengan waktu pindah alat antar tiang pancang. Asumsi yang digunakan berkaitan dengan pola pemancangan atau sistem kepala tiang adalah bahwa pemancangan dilakukan secara terus menerus dengan jarak antar tiang pancang yang hampir sama.

3) Sumberdaya manusia

Operator sebagai sumberdaya manusia yang utama dalam proses pemancangan. Operator yang kompeten akan menghasilkan produk yang berorientasi pada mutu, waktu, dan volume pekerjaan. Produk operator tersebut dapat terganggu oleh faktor internal operator, yaitu: kondisi psikologis operator, kondisi kesehatan saat bekerja, dan semangat kerja operator. Faktor internal tersebut dapat timbul karena pengaruh faktor eksternal, antara lain: tekanan manajemen, ketidaklancaran upah, dan minimnya

fasilitas akomodasi. Faktor internal operator akan bervariasi jika menghadapi masalah-masalah eksternal tersebut. Tingginya tuntutan manajemen yang tidak disertai kelancaran upah dan cukupnya fasilitas akomodasi akan menimbulkan permasalahan keluarga operator, sehingga mempengaruhi kinerja operator. Pengaruh faktor internal operator terhadap produktivitas sulit diteliti secara detail, sehingga variabel sumberdaya manusia dapat diwakili dengan faktor koreksi berdasar tabel-tabel yang umum digunakan, yaitu: Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 pada sub bab sebelumnya.

4) Kondisi lapangan (lokasi pekerjaan)

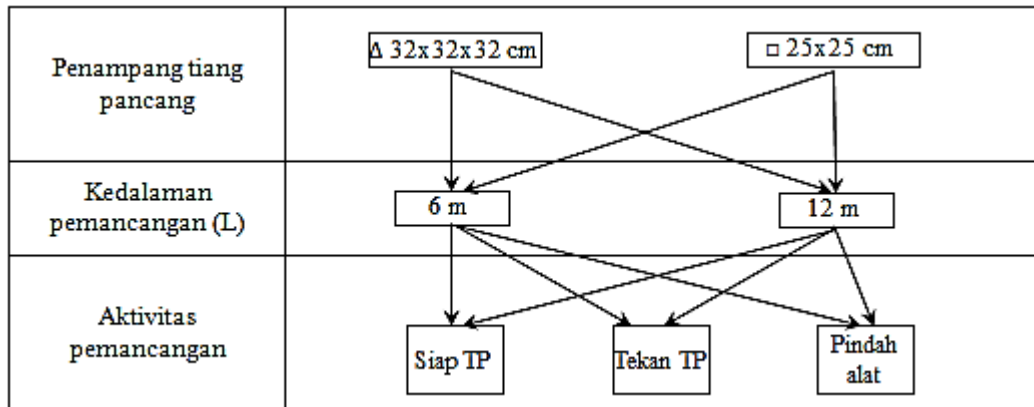
Kondisi lapangan merupakan faktor eksternal pula yang mempengaruhi kinerja operator, meliputi: kondisi permukaan lahan, hambatan-hambatan di dalam tanah, bangunan sekitar lahan, sistem pemasok tiang pancang, dan cuaca saat pemancangan. Kondisi lapangan tersebut perlu disikapi agar pengaruhnya terhadap kinerja operator dapat dipertimbangkan. Kondisi permukaan tanah yang bervariasi (tidak rata dan tidak cukup keras) akan mengganggu manuver alat, sehingga mempengaruhi waktu pindah alat ke titik pancang berikutnya. Hambatan-hambatan di dalam tanah yang tidak terduga (seperti: instalasi air, instalasi kabel listrik atau telepon, dan lapisan tanah yang bervariasi) akan mengganggu proses pemancangan, sehingga mempengaruhi waktu tekan. Bangunan sekitar lahan pada lokasi yang padat bangunan dapat menghambat proses penyiapan tiang pancang dan menyulitkan posisi pemancangan, sehingga mempengaruhi waktu penyiapan tiang pancang dan waktu pindah alat ke titik pancang berikutnya. Sistem pemasok tiang pancang (meliputi: pengiriman tiang pancang dari pabrik ke lokasi pemancangan dan penempatan *stockpile*) ikut menentukan kontinuitas pemancangan, sehingga mempengaruhi waktu penyiapan tiang pancang dan waktu pindah alat ke titik pancang berikutnya. Cuaca saat pemancangan mempengaruhi proses pemancangan, cuaca hujan menimbulkan kekhawatiran tersengat arus listrik dari mesin pembangkit listriknya, cuaca panas cepat mengakibatkan kelelahan, sehingga mempengaruhi waktu penyiapan tiang pancang dan waktu tekan. Kondisi lapangan tiap lokasi pemancangan dimungkinkan berbeda-beda dan bervariasi. Kondisi permukaan tanah, bangunan sekitar lahan, dan sistem pemasok tiang pancang dapat dikondisikan sebelumnya sehingga mengurangi dampak proses pemancangan. Hambatan di dalam tanah dan cuaca sulit diprediksi secara akurat, oleh karena itu, pengaruhnya dapat diwakili dengan faktor koreksi berdasar tabel-tabel yang umum digunakan, yaitu Tabel 2.2 pada sub bab sebelumnya.

#### 5) Kondisi peralatan

Waktu operasi peralatan akan mengurangi umur ekonomis alat. Umur ekonomis alat mempengaruhi efektivitas mesin, sehingga mempengaruhi proses pemancangan. Peralatan yang relatif baru dapat bekerja optimal, kinerja mesin menurun seiring dengan berkurangnya umur ekonomis alat, sehingga memerlukan perawatan rutin agar kinerja mesin stabil. Saat pemancangan dimungkinkan terjadi inkonsistensi mesin yang dapat mempengaruhi seluruh aktivitas pemancangan. Oleh karena itu, pengaruh kondisi peralatan perlu dipertimbangkan menggunakan Tabel 2.1 pada sub bab sebelumnya yang umum digunakan sebagai faktor koreksi produktivitas alat berat.

Variabel-variabel tersebut dibedakan menjadi 3, yaitu: variabel dependen, variabel independen, dan variabel moderat. Produktivitas *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B (*ProHSPD*) sebagai variabel dependen. Variabel independen meliputi: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan (*L*), dan waktu siklus (*ws*). Tiang pancang beton menggunakan ukuran penampang  $\Delta 32 \times 32 \times 32$  cm dan  $\square 25 \times 25$  cm. Kedalaman pemancangan (*L*) yang ditinjau yaitu: 6 m dan 12 m. Ukuran tiang pancang diantaranya (misalnya  $\square 20 \times 20$  cm) dan kedalaman diantaranya dapat ditentukan berdasar grafik produktivitas. Waktu siklus (*ws*) terdiri dari waktu siap TP, waktu tekan TP, dan waktu pindah alat. Kombinasi variabel independen tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-2. Sumberdaya manusia, kondisi lapangan, dan kondisi peralatan sebagai variabel moderat yang tidak dipertimbangkan langsung dalam menentukan produktivitas pemancangan, karena kesulitan memperoleh data kuantitatif secara langsung di lapangan, sehingga dipertimbangkan dengan faktor koreksi. Jenis tanah diasumsikan memiliki komposisi tertentu dan daya dukung yang hampir sama. Pemancangan diasumsikan dilakukan terus menerus, sehingga jarak antar *pile caps* dihilangkan.

Gambar 3-2 menunjukkan bahwa terdapat 4 kombinasi variabel independen yaitu 2 variabel ukuran penampang tiang pancang dan 2 variabel kedalaman pemancangan. Masing-masing ukuran penampang dikaji untuk 2 kedalaman pemancangan, yaitu: 6 m dan 12 m, sehingga diperlukan 4 kelompok data. Panjang tiang pancang yang digunakan disesuaikan dengan kedalaman pemancangan. Produktivitas tertinggi dapat dicapai bila digunakan 3 aktivitas pemancangan pada masing-masing kedalaman, yaitu: aktivitas siap TP, tekan TP, dan pindah alat, sehingga diperoleh waktu siklus minimum.



Gambar 3-2. Kombinasi Variabel Independen

### 3.2.2 Instrumen Penelitian

Penelitian ini berawal dari fenomena nyata kegiatan proyek pemancangan. Data lapangan yang sesuai dengan kriteria-kriteria kebutuhan penelitian diperlukan untuk mendukung tercapainya tujuan penelitian. Teknik dokumentasi digunakan untuk mendapatkan data gambar denah pondasi. Data lapangan yang berupa ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu aktivitas pemancangan diperoleh dengan teknik observasi melalui instrumen penelitian yang berupa diagram operasi dan lembar studi waktu (*time study sheet*). Diagram operasi berisi simbol, deskripsi operasi simbol, dan deskripsi keluaran, yang menggambarkan urutan operasi pekerjaan. Diagram operasi ditunjukkan dalam Gambar 3-3 yang mengacu pada Gambar 2-8 pada sub bab 2.4. Lembar studi waktu berupa deskripsi elemen aktivitas pemancangan dan formulir pencatatan elemen-elemen waktu aktivitas pemancangan. Format lembar studi waktu ditunjukkan dalam Gambar 3-4a dan Gambar 3-4b yang mengacu pada Gambar 2-7a dan Gambar 2-7b pada sub bab 2.3

Aktivitas pemancangan maksimum terdiri dari 7 elemen yang merupakan 1 siklus pemancangan. Masing-masing elemen dicatat: waktu yang diperlukan (T), bacaan *stopwatch* akhir tiap elemen (R), waktu tunggu tiap elemen (Ti) jika ada, dan bacaan *stopwatch* akhir waktu tunggu tiap elemen (Ri) jika ada. Operasional lembar studi waktu ini mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Mencatat T, R, Ti, dan Ri tiap elemen secara berurutan
- 2) Mengulangi langkah 1 untuk titik pancang berikutnya
- 3) Menjumlahkan dan merata-rata durasi waktu tiap elemen.

### 3.3 Desain Penelitian

Desain penelitian meliputi proses penentuan obyek penelitian, penentuan instrumen pengambilan data, koleksi data dan analisisnya. Uraian tentang desain penelitian pada penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Obyek penelitian ini berupa pekerjaan pemancangan menggunakan alat *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B. Obyek penelitian ini tidak memiliki karakteristik yang sama dan merupakan studi kasus, sehingga tidak terdapat populasi. Namun dibutuhkan sampel untuk kebutuhan penelitian ini, yang dipilih dari obyek penelitian secara tidak acak. Teknik pengambilan sampel digunakan *non probability sampling* (teknik pengambilan sampel secara tidak acak) dengan cara *purposive sampling* (cara pengambilan sampel atas dasar pertimbangan peneliti). Penentuan jumlah sampel didekati dengan ketentuan umum dalam statistik (*rule of thumb*) yaitu minimum 30 sampel tiap kelompok data, sehingga diperlukan 120 sampel untuk 4 kelompok data.
- 2) Metode studi waktu telah banyak digunakan untuk mengumpulkan data dalam rangka menghitung produktivitas, misalnya produktivitas *bulldozer* atau alat berat lainnya. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan format lembar studi waktu (*time study sheet*) sebagai instrumen pengambilan data. Lembar studi waktu tersebut juga dilengkapi dengan lembar studi pergerakan (*motion study sheet*) untuk menganalisis gerakan aktivitas alat. Pengambilan data menggunakan format lembar studi waktu ini memerlukan peralatan pendukung *stopwatch* dan papan studi.
- 3) Data-data yang diperlukan untuk menghitung dan menaksirkan produktivitas peralatan *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B dikumpulkan dari lokasi-lokasi pekerjaan pemancangan. Lokasi pemancangan diperoleh dari informasi mandor pelaksana pemancangan yang sudah dikenal peneliti atau lokasi lain yang direkomendasikannya. Data yang diperlukan berupa: gambar rencana titik-titik pondasi bangunan, ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus atau waktu aktivitas pemancangan. Data dikumpulkan oleh peneliti dibantu oleh mandor pelaksana pemancangan untuk mendapatkan data sondir dan gambar rencana. Data-data penelitian dikumpulkan dengan teknik observasi dan dokumentasi.
- 4) Data-data yang dikumpulkan diklasifikasikan dan diuji normalitas untuk keperluan pemodelan. Langkah yang dilakukan adalah:



**DIAGRAM OPERASI**

Halaman 1 dari .....

Operasi : Pemancangan Proyek Gedung di .....



















Nomor Titik : .....

Kontraktor : .....

Mesin : *Hydraulic Static Pile Driver ZYC 120 B-B*

Operator *Jack-in pile* : ..... Operator *Crane* : .....

Digambar oleh : Joko Yulianto Tanggal : .....

Simbol	Deskripsi operasi simbol	Deskripsi keluaran
	Mengarahkan <i>crane</i>	Kabel baja pengikat <i>crane</i> diarahkan ke tempat penumpukan TP.
	Menyiapkan TP1	TP1 terikat <i>crane</i> , diangkat, dan siap di alat <i>jack-in</i> .
	Menjepit TP1	TP1 terjepit kuat pada penjepit tiang pada alat <i>jack-in</i> .
	Menekan TP1 & menyiapkan TP2	TP1 ditekan oleh operator <i>jack-in pile</i> dan TP2 disiapkan oleh operator <i>crane</i> .
	Menaikkan hidrolik dan menjepit TP2	Hidrolik naik dan penjepit menjepit TP2.
	Menekan TP1 dengan bantuan TP2	TP1 ditekan sampai batas pengelasan.
	Mengelas sambungan TP	Pangkal TP1 dan ujung TP2 terikat dengan las ikat.
	Menaikkan hidrolik dan menjepit TP2	Hidrolik naik dan penjepit menjepit TP2.
	Menekan TP2 & menyiapkan TP3	TP2 ditekan oleh operator <i>jack-in pile</i> dan TP3 disiapkan oleh operator <i>crane</i> .
	Menaikkan hidrolik dan menjepit TP3	Hidrolik naik dan penjepit menjepit TP3.
	Menekan TP2 dengan bantuan TP3	TP2 ditekan sampai batas pengelasan.
	Mengelas sambungan TP	Pangkal TP2 dan ujung TP3 terikat dengan las ikat.
	Menaikkan hidrolik dan menjepit TP3	Hidrolik naik dan penjepit menjepit TP3.
	Menekan TP3 & menyiapkan ruyung	TP3 ditekan oleh operator <i>jack-in pile</i> dan ruyung disiapkan oleh operator <i>crane</i> .
	Menaikkan hidrolik dan menjepit ruyung	Hidrolik naik dan penjepit menjepit ruyung
	Menekan TP3 dengan bantuan ruyung	TP3 semua masuk maksimal ke dalam tanah
	Memposisikan alat ke titik berikutnya	Operator <i>jack-in pile</i> memindahkan alat ke titik berikutnya dan operator <i>crane</i> mengangkat dan memindahkan ruyung.
	Menganggur	Alat istirahat siang dan sore hari

Gambar 3-3. Diagram Operasi

- Keterangan:**
- TP : tiang pancang
  - TP1 : tiang pancang pertama
  - TP2 : tiang pancang kedua
  - TP3 : tiang pancang ketiga

**LEMBAR STUDI WAKTU**

Halaman 2 dari .....

Operasi : Pemancangan Proyek Gedung di .....

Nomor Titik : .....

Kontraktor : .....

Mesin : *Hydraulic Static Pile Driver ZYC 120 B-B*

Operator *Jack-in pile* : ..... Operator *Crane* : .....

Bentuk/ Ukuran Tiang : ..... Panjang Tiang : .....

Distudi oleh : Joko Yulianto Tanggal : .....

No. elemen	Deskripsi operasi elemen
1	Menyiapkan TP1: mulai mengikat dan mengangkat TP1 oleh operator <i>crane</i> , menyesuaikan sumbu titik, dan menjepit TP1 pada alat <i>jack-in pile</i> .
2	Menekan TP1 & menyiapkan TP2: mulai menekan TP1 oleh operator <i>jack-in pile</i> , menyiapkan TP2 oleh operator <i>crane</i> , dan menggunakan TP2 untuk menekan TP1 sampai cukup tersisa untuk pengelasan.
3	Mengelas sambungan TP: mulai mengelas pangkal TP1 dengan ujung TP2 pada sisi-sisinya dengan las ikat.
4	Menekan TP2 & menyiapkan TP3: mulai menekan TP2 oleh operator <i>jack-in pile</i> , menyiapkan TP3 oleh operator <i>crane</i> , dan menggunakan TP3 untuk menekan TP2 sampai cukup tersisa untuk pengelasan.
5	Mengelas sambungan TP: mulai mengelas pangkal TP2 dengan ujung TP3 pada sisi-sisinya dengan las ikat.
6	Menekan TP3 dan sisanya dengan bantuan ruyung: mulai menekan TP3 oleh operator <i>jack-in pile</i> , menyiapkan ruyung oleh operator <i>crane</i> , dan menggunakan ruyung untuk membantu menekan TP3 sampai batas maksimal.
7	Memposisikan alat pada titik berikutnya: mulai alat berpindah ke titik berikutnya oleh operator <i>jack-in pile</i> , mengangkat dan memindahkan ruyung oleh operator <i>crane</i> , dan <i>crane</i> siap melakukan elemen 1.

Gambar 3.4a. Deskripsi Elemen

**Keterangan:**

TP : tiang pancang

TP1 : tiang pancang pertama

TP2 : tiang pancang kedua

TP3 : tiang pancang ketiga

1, 2, ...,7 : nomor elemen urutan aktivitas pemancangan

Hari/Tgl.: ..... Nomor pengamatan: .....  
 Mulai studi: ..... Akhir studi: ..... Halaman 3 dari .....

Elemen	Variabel	Siklus / Titik pemancangan												Rangkuman					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Jum.	Rata			
Menyiapkan TP1	1	T																	
		R																	
		Ti																	
		Ri																	
Menekan TP1 & Menyiapkan TP2	2	T																	
		R																	
		Ti																	
		Ri																	
Mengelas sambungan TP1	3	T																	
		R																	
		Ti																	
		Ri																	
Menekan TP2 & Menyiapkan TP3	4	T																	
		R																	
		Ti																	
		Ri																	
Mengelas sambungan TP2	5	T																	
		R																	
		Ti																	
		Ri																	
Menekan TP3 & sisanya dengan bantuan	6	T																	
		R																	
		Ti																	
		Ri																	
Memposisikan alat pada titik berikutnya	7	T																	
		R																	
		Ti																	
		Ri																	

Keterangan:  
 R : bacaan *stopwatch* akhir tiap elemen      Ri : bacaan *stopwatch* akhir waktu tunggu tiap elemen  
 T : waktu yang diperlukan tiap elemen      Ti : waktu tunggu tiap elemen = Ri - R

Gambar 3-4b. Formulir Pencatatan Elemen-Elemen Waktu Pemancangan

(1) Klasifikasi

Data yang terkumpul diklasifikasikan berdasar:

- a) Ukuran penampang tiang pancang, yaitu: segitiga 32x32x32 cm dan bujursangkar 25x25 cm. Klasifikasi ukuran penampang tiang pancang berdasar kapasitas alat *HSPD* yang diteliti.
- b) Kedalaman pemancangan, yaitu: 6 m dan 12 m. Klasifikasi kedalaman pemancangan disesuaikan dengan perolehan data.

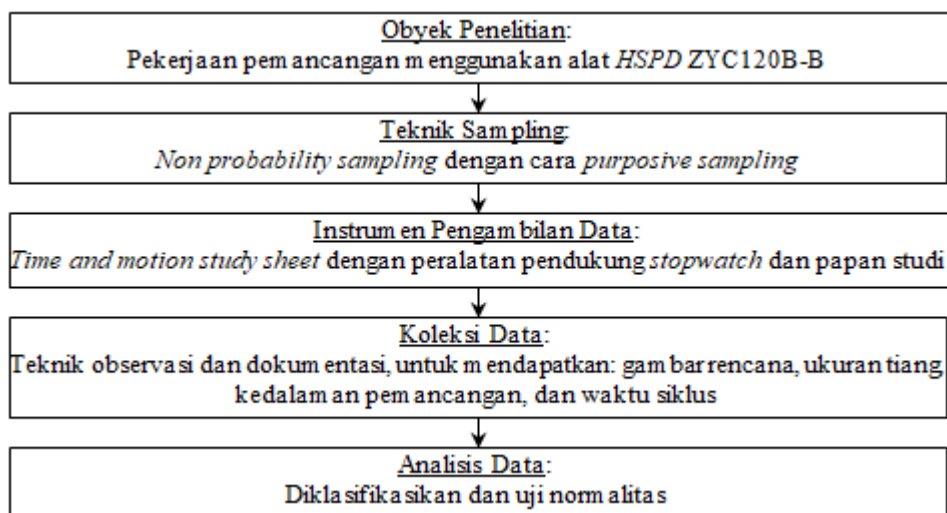
- c) Waktu aktivitas pemancangan, yaitu: waktu siap TP (tiang pancang), waktu tekan TP, dan waktu pindah alat. Waktu las untuk penyambungan tiang pancang tidak disertakan dalam penelitian ini, karena sistem pengelasan tidak sesuai standar sambungan tiang pancang.
- d) Pola pemancangan menunjukkan jarak antar *pile caps* yang terbagi dalam 4 kelompok, yaitu: 3 – 3,5 m, 4 – 4,5 m, 5 – 5,5 m, dan 7 – 7,5 m. Pola pemancangan ini dikelompokkan berdasar data gambar rencana titik-titik pondasi bangunan yang dikumpulkan.

(2) Uji normalitas

Waktu aktivitas pemancangan hasil observasi digunakan untuk pemodelan analitis dan simulasi, karena pemodelan ini berdasar analisis proses pemancangan. Jumlah waktu aktivitas pemancangan hasil observasi digunakan untuk menghitung produktivitas aktual, yang selanjutnya digunakan untuk pemodelan regresi dan ANN, karena pemodelan ini berdasar analisis data pemancangan tanpa memperhatikan kinerja pekerja dan operator.

Waktu aktivitas pemancangan dan produktivitas aktual diterapkan uji normalitas untuk memeriksa distribusi data. Bila data tidak berdistribusi normal maka dapat dilakukan beberapa tindakan untuk menormalkan, yaitu: mengeluarkan data pengganggu (*outlier*) atau melakukan transformasi data.

Uraian desain penelitian di atas disarikan dalam Gambar 3-5.



Gambar 3-5. Desain Penelitian

### 3.4 Skenario Penelitian

Desain penelitian tersebut dapat dilaksanakan dengan skenario penelitian yang benar. Detail skenario penelitian ini mengikuti 6 tahap sebagai berikut:

1) Tahap 1: Menyusun kebutuhan data.

Penelitian ini merupakan studi kasus produktivitas pemancangan menggunakan alat *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B. Penelitian produktivitas pemancangan menggunakan alat *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B memerlukan data sebagai berikut: gambar rencana titik-titik pondasi bangunan, ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus atau waktu aktivitas pemancangan. Gambar rencana titik-titik pondasi bangunan digunakan untuk mengetahui pola pemancangan dan untuk pengkodean urutan pemancangan dan pencatatan data. Ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus digunakan untuk menganalisis produktivitas.

Tujuan penelitian ini dapat dicapai dengan kebutuhan data sebanyak 4 kelompok data. Kelompok data itu terbagi dalam 2 macam ukuran penampang tiang pancang, dan masing-masing ukuran penampang tiang pancang diamati untuk 2 kedalaman pemancangan. Tiap kelompok data terdiri dari sejumlah titik pemancangan yang mewakili lokasi penelitian.

2) Tahap 2: Mengumpulkan data.

Gambar denah pondasi dapat diminta dari konsultan perencana. Data ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus atau waktu aktivitas pemancangan diperoleh langsung dari pengamatan lapangan. Data waktu diukur dengan metode *continuous timing stopwatch time study* dan dicatat dalam lembar studi waktu. Pencatatan data lainnya yang diperlukan juga pada lembar tersebut, misalnya: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, bacaan manometer, dan keterangan-keterangan lainnya.

3) Tahap 3: Klasifikasi data.

Data yang dikumpulkan dari lapangan merupakan data mentah yang perlu diklasifikasi untuk mencapai tujuan penelitian. Data itu adalah: gambar rencana titik-titik pondasi bangunan, ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus atau waktu aktivitas pemancangan. Klasifikasi data adalah sebagai berikut:

(1) Ukuran tiang pancang

Alat *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B mampu memancangkan tiang pancang beton bujursangkar maksimum berukuran 30 x 30 cm dan bulat berdiameter 30 cm. Bangunan gedung bertingkat menengah (2 sampai 4 lantai) umumnya menggunakan tiang pancang  $\Delta 32 \times 32 \times 32$  cm dan  $\square 25 \times 25$  cm. Penelitian ini difokuskan untuk bentuk dan ukuran tersebut.

(2) Kedalaman pemancangan

Pemancangan dilakukan sampai mencapai kedalaman dan daya dukung tertentu sesuai perencanaan. Daya dukung dapat diketahui dari bacaan manometer tekanan alat, sedangkan kedalaman pemancangan diketahui dari panjang tiang pancang yang masuk ke dalam tanah. Biasanya tiang pancang dipancangkan seluruhnya, sesuai panjang desain tiang, jika kekuatan tiang dan alat mampu menembus lapisan tanah. Hal ini dilakukan untuk menghindari aktivitas pemotongan tiang. Penelitian ini mengelompokkan kedalaman pemancangan dalam 2 kelompok, yaitu: 6 m dan 12 m. Kedalaman yang tidak diteliti dapat diperkirakan dengan model.

(3) Waktu aktivitas pemancangan

Banyaknya aktivitas pemancangan yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah 3 aktivitas pemancangan, yaitu: siap TP (tiang pancang), tekan TP, dan pindah alat. Aktivitas pengelasan sambungan tiang pancang diasumsikan tidak ada dengan mengeluarkan waktu pengelasan dari waktu siklus.

Waktu yang dicatat di lapangan merupakan waktu masing-masing aktivitas pemancangan tiap titik pancang. Data waktu dikumpulkan sesuai aktivitas pemancangan yaitu: waktu siap TP, waktu tekan TP, dan waktu pindah alat. Waktu pindah alat yang digunakan adalah waktu pindah alat antar titik dalam 1 *pile cap*, sedangkan waktu pindah alat antar *pile caps* dikurangi waktu pindah alat antar titik dalam 1 *pile cap* merupakan waktu akibat pola pemancangan.

(4) Pola pemancangan

Fokus penelitian pada pola pemancangan pondasi bangunan gedung yang terdiri dari beberapa *pile caps*. Jarak antar titik-titik pancang dalam 1 *pile cap* cukup dekat dibandingkan dengan jarak antar *pile caps*. Waktu pindah alat antar titik-titik dalam 1 *pile cap* lebih kecil dibandingkan dengan waktu pindah alat antar *pile caps* sehingga terjadi perbedaan waktu pindah alat yang signifikan. Oleh karena itu, hasil penelitian agar dapat digunakan pada pola pemancangan pondasi bangunan teknik sipil, maka waktu pindah alat antar *pile caps* dikeluarkan dari kelompok data.

Waktu pindah alat antar *pile caps* dikurangi dengan waktu pindah alat rata-rata dalam 1 *pile cap*, hasilnya disisihkan untuk digunakan sebagai tambahan waktu penyelesaian keseluruhan pekerjaan sesuai dengan jarak antar *pile caps* yang direncanakan. Waktu akibat pola pemancangan dikelompokkan menjadi 4 kelompok berdasarkan jarak antar *pile caps*, yaitu jarak *pile cap* : 3 – 3,5 m, 4 – 4,5 m, 5 – 5,5 m, dan 7 – 7,5 m. Pengelompokkan ini berdasar beberapa gambar rencana titik-titik pondasi bangunan hasil observasi.

4) Tahap 4: Pengolahan data.

Setelah data lapangan diklasifikasikan, selanjutnya perlu dilakukan uji normalitas. Kelompok data hasil observasi dilakukan uji normalitas untuk mendapatkan data berdistribusi normal. Data waktu normal dan data berdistribusi normal diperlukan untuk pemodelan. Uji normalitas diterapkan pada data waktu aktivitas pemancangan dan produktivitas aktual. Bila dari uji normalitas menunjukkan data yang tidak berdistribusi normal, maka dilakukan transformasi data, yang selanjutnya diuji normalitas lagi. Uji normalitas dapat dilakukan dengan memperhatikan nilai kritis *Skewness* dan *Kurtosis*, yaitu kurang dari 2,58 untuk  $\alpha = 0,01$ . Nilai *Skewness* dan *Kurtosis* dapat dihitung dengan Persamaan (2.14 a) dan Persamaan (2.14b) yang sudah dibahas pada sub bab 2.5, yaitu:

$$z_{\text{skew}} = \frac{\text{Skewness}-0}{\sqrt{\frac{6}{N}}} \quad \text{dan} \quad z_{\text{kurt}} = \frac{\text{Kurtosis}-0}{\sqrt{\frac{24}{N}}}$$

5) Tahap 5: Pemodelan.

Data yang sudah diolah diambil secara acak sebanyak 70% untuk pemodelan dan 30% untuk validasi model. Pemodelan dilakukan dengan 4 cara yaitu: deterministik (analitis), simulasi *CYCLONE*, regresi, dan *ANN*. Keempat cara tersebut dilakukan untuk mendapatkan hasil model terbaik. Langkah yang akan ditempuh sebagai berikut:

- (1) Menggunakan 70% data yang berdistribusi normal sebagai masukan pemodelan analitis dan simulasi *CYCLONE*. Pemodelan regresi dan *ANN* menggunakan 70% data produktivitas aktual yang berdistribusi normal. Pemodelan ini menghasilkan grafik produktivitas *HSPD*.
- (2) Menggunakan 30% sisa data masing-masing pemodelan untuk menguji validitas model. Uji validitas dilakukan dengan perbandingan produktivitas hasil pemodelan

dengan produktivitas aktual (hasil perhitungan dengan 30% data) sebagai validasi internal. Bila hasil model tidak valid harus dilakukan pemodelan ulang.

- (3) Menguji sensitivitas model, model yang sudah valid diberi masukan yang berbeda untuk menguji konsistensi dan kestabilan model. Misalnya merubah masukan banyaknya tiang pancang tiap titik pancang (BTP). Saat pemodelan menggunakan panjang tiang pancang 6 m, sehingga BTP yang digunakan sebagai berikut: kedalaman 6 m dengan 1 BTP dan kedalaman 12 m dengan 2 BTP. Pengujian sensitivitas menggunakan panjang tiang pancang 3 m (untuk kedalaman 6 m) dan 4 m (untuk kedalaman 12 m), sehingga BTP yang digunakan sebagai berikut: kedalaman 6 m dengan 2 BTP dan kedalaman 12 m dengan 3 BTP. Bila produktivitas yang diperoleh dari uji sensitivitas mempunyai pola yang sama dengan produktivitas hasil pemodelan maka dikatakan hasil pemodelan konsisten dan model stabil, namun jika sebaliknya maka harus dilakukan pemodelan ulang.

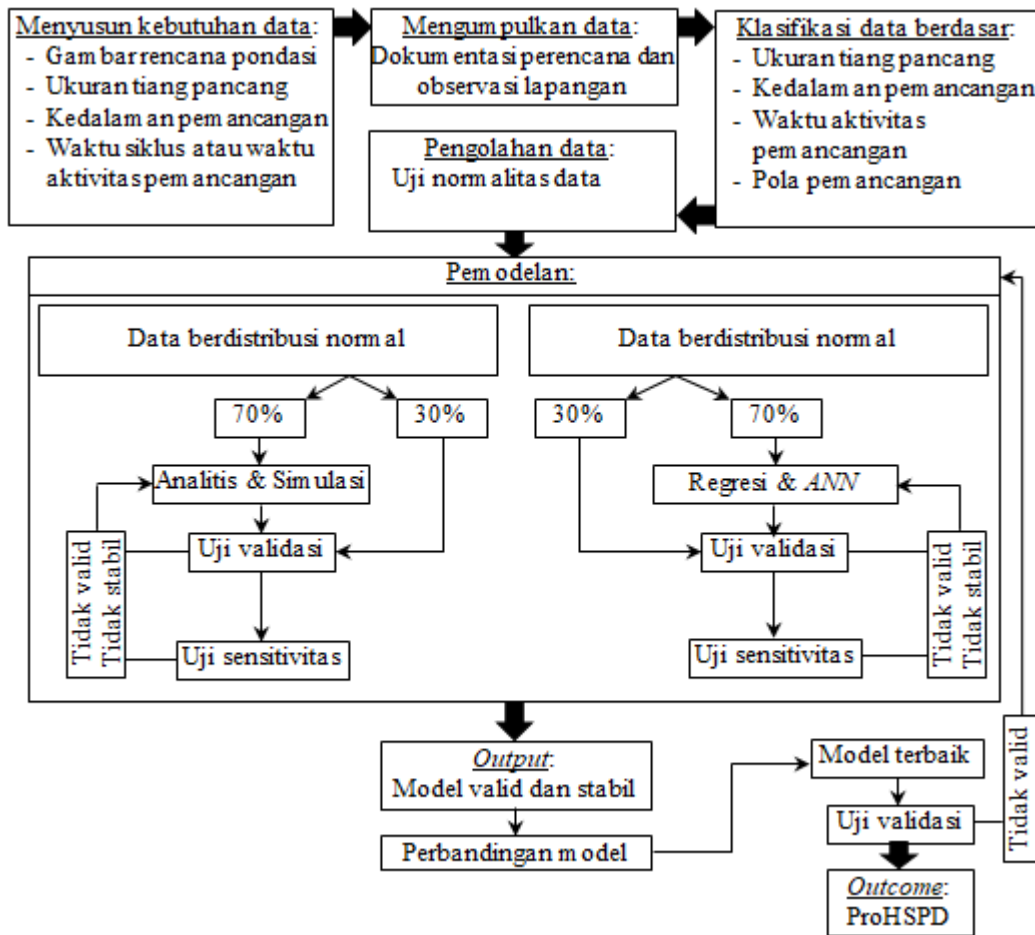
#### 6) Tahap 6: Model ProHSPD

Masing-masing metode pemodelan menghasilkan model grafik produktivitas yang valid dan stabil. Model ProHSPD dihasilkan dengan cara sebagai berikut:

- (1) Memilih model terbaik, nilai validitas dan deviasi (penyimpangan) masing-masing model dibandingkan, sehingga dapat diketahui model terbaik, yaitu model dengan nilai validitas terbesar dan nilai deviasi terkecil.
- (2) Menguji validitas model terbaik, dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan kelebihan data pengamatan yang belum digunakan dan dengan menerapkan langsung di lapangan. Cara pertama dilakukan seperti pengujian validitas di atas, sedang cara kedua dilakukan dengan pembuktian terbalik yaitu menggunakan model terbaik untuk merencanakan pekerjaan, selanjutnya membandingkan hasil perencanaan dengan realita di lapangan. Bila pengujian validitas menunjukkan hasil yang valid maka model terbaik diusulkan sebagai model ProHSPD.

Skenario penelitian ini yang diuraikan di atas dapat disarikan dalam Gambar 3-6.





Gambar 3-6. Skenario Penelitian

### 3.5 Metode Pendekatan Model

Sistem dalam penelitian ini dinamai sistem nyata pemancangan karena merupakan sistem yang terjadi dalam kehidupan dan dijadikan titik perhatian. Sistem pemancangan merupakan inter-aksi antar unsur-unsur pekerjaan pemancangan dalam batasan lingkungan bangunan gedung bertingkat, yang merespon *input*, sehingga menghasilkan *output* yaitu sistem produktivitas pemancangan. Unsur-unsur dalam sistem produktivitas pemancangan tidak berubah terhadap waktu, artinya bahwa sistem produktivitas pemancangan tidak memiliki peubah keadaan (*state variables*), sehingga tidak berinteraksi dengan lingkungan atau faktor lingkungan tidak mempengaruhi tingkah-laku sistem dan dipandang sebagai sistem tertutup (*closed system*). Sistem produktivitas pemancangan ini merupakan model sistem kejadian diskret, yaitu sistem model di mana peristiwa masukan, keluaran dan kejadian tidak terus menerus. Hal ini mudah dipahami bahwa operasi alat tergantung pada keberadaan pekerjaan pada suatu lokasi, sehingga pekerjaan bersifat insidental. Selain itu,

sistem pemancangan termasuk dalam model sistem statis di mana keadaan sistem tidak berubah terhadap waktu.

Perilaku sistem tersebut dipelajari dengan model yaitu alat untuk merancang, menganalisa, dan mengoperasikan sistem nyata dalam bahasa tertentu (misalnya: bahasa fisik, matematika, dan komputer). Sistem produktivitas pemancangan merupakan sistem tertutup yang termasuk dalam model sistem kejadian diskrit dan model sistem statis serta bersifat kuantitatif, maka model sistem tersebut dapat dibuat dengan model fisik, matematika, dan komputer untuk menirukan sistem. Model tersebut dibangun melalui proses pemodelan.

Produktivitas *HSPD* dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus. Ukuran penampang bujursangkar 25 x 25 cm dan segitiga 32 x 32 x 32 cm. Kedalaman pemancangan dibagi menjadi 2 kedalaman, yaitu: 6 m dan 12 m. Waktu siklus terdiri dari 3 waktu aktivitas utama, yaitu: waktu menyiapkan tiang pancang ( $w_{siap}$ ), waktu menekan tiang pancang ( $w_{tekan}$ ), dan waktu pindah alat ke titik pancang berikutnya ( $w_{pindah}$ ). Faktor jenis tanah diasumsikan memiliki komposisi tertentu dan daya dukung yang hampir sama. Pemancangan diasumsikan dilakukan terus menerus, sehingga jarak antar *pile caps* dihilangkan. Sumberdaya manusia, kondisi lapangan, dan kondisi peralatan dipertimbangkan dengan faktor koreksi. Dengan demikian variabel yang dilibatkan langsung adalah: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu aktivitas pemancangan.

Berbagai macam model berkaitan dengan produktivitas tiang bor telah disebutkan pada sub bab 2.5 di atas. Tiang bor merupakan salah satu pondasi dalam yang dilakukan dengan mengebor tanah sampai kedalaman tertentu dan mengisi lobang bor dengan beton bertulang, sehingga membentuk tiang beton. Sedangkan tiang pancang dilakukan dengan memasukkan tiang pancang ke dalam tanah, sehingga menjadi tiang beton sebagai pondasi dalam. Tiang bor dan tiang pancang memerlukan alat untuk mewujudkannya sebagai pondasi dalam, yang memiliki kesamaan prinsip kerja. Dengan demikian, metode pemodelan pada tiang bor dapat dikembangkan untuk pemodelan produktivitas pemancangan. Tujuan penelitian ini adalah membangun model produktivitas *HSPD*. Tujuan tersebut dapat dicapai dengan beberapa cara pemodelan, yaitu: model deterministik, model simulasi *Cyclone*, model regresi, dan model *ANN*.

### 3.5.1 Model Deterministik

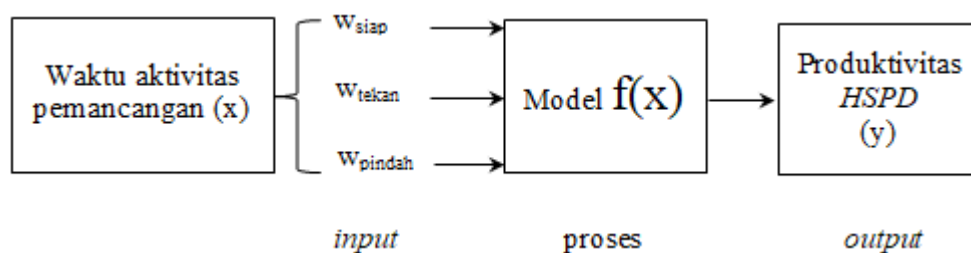
Pemancangan dengan sistem penekanan menggunakan *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B memiliki tahap-tahap tertentu yang berbeda dengan alat pancang dengan sistem lainnya, sehingga langkah-langkah desainnya juga berbeda. Tahap-tahap pemancangan digunakan untuk menganalisis aktivitas-aktivitas pemancangan, sehingga dapat diukur durasi masing-masing aktivitas. Deskripsi tahap-tahap pemancangan menggunakan *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B seperti yang dijelaskan pada bagian depan sub bab 2.1.

Metode deterministik bersifat tertentu, sehingga diperlukan data deterministik yang bersifat tetap. Penggunaan data stokastik akan mempersulit perhitungan, karena banyaknya kombinasi peluang penggunaan data. Diperlukan durasi rata-rata masing-masing tahap pemancangan. Masing-masing waktu aktivitas pemancangan diukur untuk memperkecil kesalahan, dibandingkan dengan mengukur waktu siklus secara langsung, karena masing-masing aktivitas dapat diamati dan mudah diberikan koreksi apabila terdapat kesalahan pengamatan.

Produktivitas pemancangan menggunakan *HSPD* merupakan proses konstruksi yang sederhana, karena hanya melibatkan satu peralatan utama dan dua alat bantu. Waktu masing-masing aktivitas pemancangan digunakan sebagai *input* pemodelan. Data waktu aktivitas pemancangan dikumpulkan untuk masing-masing kedalaman pemancangan dan dijumlahkan, sehingga diperoleh waktu siklus pemancangan. Produktivitas dapat dihitung secara analitis menggunakan persamaan matematika dengan *input* waktu aktivitas pemancangan. Oleh karena itu, model deterministik dapat digunakan untuk menentukan produktivitas *HSPD*.

Konseptual model deterministik ditunjukkan pada Gambar 3-7. Produktivitas *HSPD* dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus. Ukuran tiang pancang digunakan untuk membedakan model grafik produktivitas *HSPD*. Model deterministik menggunakan waktu aktivitas pemancangan yang terdiri dari  $w_{\text{siap}}$ ,  $w_{\text{tekan}}$ , dan  $w_{\text{pindah}}$  sebagai variabel. Variabel kedalaman pemancangan digunakan untuk memisahkan bentuk model proses pemancangan. Produktivitas dihitung untuk tiap kedalaman pemancangan, selanjutnya hasil digabungkan, sehingga menjadikan kedalaman pemancangan sebagai variabel. Nilai tetap waktu aktivitas-aktivitas pemancangan dijumlahkan, sehingga menghasilkan waktu

siklus tiap titik pemancangan. Waktu siklus digunakan sebagai *input* fungsi matematika, sehingga menghasilkan *output* tertentu ( $y$ ).



Gambar 3-7. Konseptual Model Deterministik

Waktu siklus merupakan kumpulan waktu dari awal hingga akhir yang diperlukan untuk proses pemancangan. Oleh karena itu, tahap-tahap pemancangan harus ditentukan secara detail. Tahap-tahap pemancangan dimulai dari menyiapkan tiang pancang sampai memindahkan alat ke titik pancang berikutnya, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2-3 pada sub bab 2.1.

Banyaknya tahap pemancangan tergantung kedalaman pemancangan dan panjang tiang pancang yang digunakan. Tahap pemancangan dari hasil observasi lapangan dapat diringkas sebagai berikut:

1) Menyiapkan tiang pancang

Dilakukan oleh pekerja dan operator *crane* mulai dari:

- (1) mengikat tiang pancang yang dilakukan oleh pekerja
- (2) mengangkat tiang pancang hingga tegak yang dilakukan oleh operator *crane*
- (3) memutar lengan *crane* hingga tiang pancang berada di atas lubang *grip* (klem tiang pancang) yang dilakukan oleh operator *crane*
- (4) menurunkan tiang pancang hingga tiang pancang terjepit oleh *grip* dalam posisi tegak lurus titik pancang yang dilakukan oleh operator *crane*

2) Menekan tiang pancang

Penekanan tiang pancang dilakukan oleh operator *HSPD* secara bertahap, maksimum sekali tekan 1,6 m, berikutnya operator menaikkan *grip* lalu menekan kembali, hingga tiang pancang masuk dalam tanah.

3) Memindahkan alat ke titik pancang berikutnya

Operator *HSPD* memindahkan alat ke titik berikutnya untuk memulai proses pemancangan berikutnya, sedangkan operator *crane* mengangkat ruyung dan meletakkan di atas tanah.

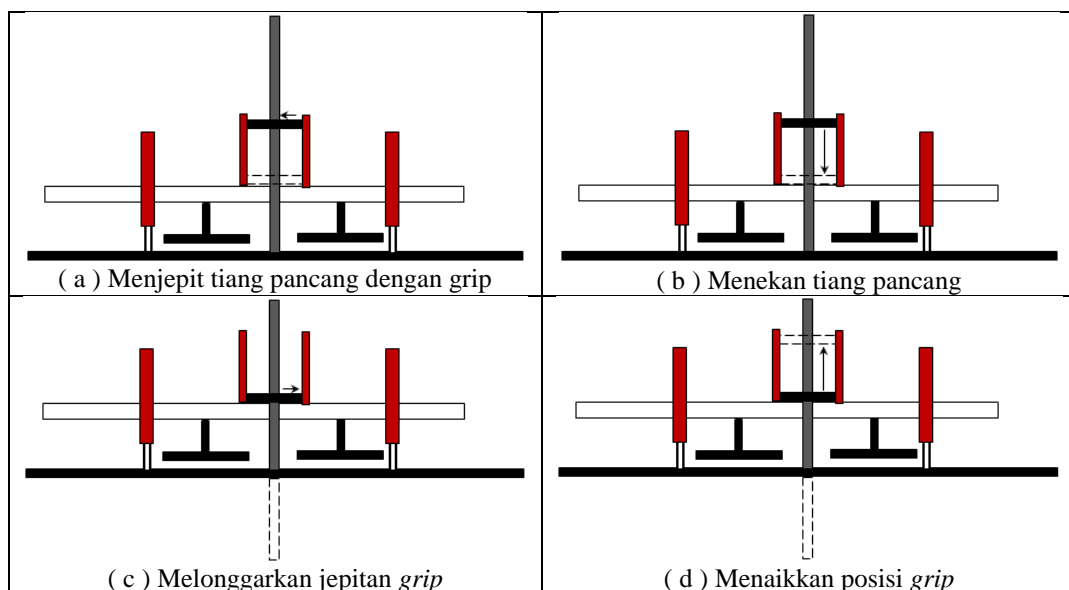
Tahap pemancangan tersebut digunakan untuk mendesain model analitis produktivitas pemancangan menggunakan alat *HSPD*. Desain umum model analitis akan diaplikasikan untuk ukuran penampang dan kedalaman pemancangan yang berbeda. Desain umum model analitis mempertimbangkan langkah-langkah berikut:

1) Menentukan waktu aktivitas menekan tiang pancang

Aktivitas menekan tiang pancang dilakukan oleh mesin *HSPD* terdiri dari 4 sub-aktivitas yaitu:

- (1) Menjepit tiang pancang dengan *grip*
- (2) Menekan tiang pancang
- (3) Melonggarkan jepitan *grip*
- (4) Menaikkan posisi *grip*.

Sub-aktivitas tersebut dilakukan secara berulang-ulang hingga seluruh panjang tiang pancang masuk ke dalam tanah. Sub-aktivitas menekan tiang pancang ditunjukkan pada Gambar 3-8.



Gambar 3-8. Sub-Aktivitas Menekan Tiang Pancang

Kedalaman pemancangan ( $L$ ) dibagi menjadi beberapa segmen sesuai panjang tiang pancang yang digunakan ( $l_i$ ), seperti ditunjukkan pada Gambar 3-9. Waktu tekan di awal kedalaman berbeda dengan di akhir kedalaman pemancangan. Oleh karena itu,

kedalaman pemancangan dibagi menjadi segmen-segmen agar perbedaan waktu antara bagian atas dan bawah segmen menjadi kecil. Dengan demikian waktu tekan tiap segmen tidak berubah, sehingga dapat digunakan waktu tekan rata-rata pada titik tengah masing-masing segmen yang mewakili seluruh kedalaman segmen.

Waktu tekan merupakan waktu paling bervariasi karena tergantung pada jenis tanah, ukuran penampang tiang pancang, dan kedalaman pemancangan. Merujuk pada Persamaan (2.8) pada sub bab 2.5, yaitu  $TDT = \left(\frac{d}{h_k}\right) \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}$ , maka waktu menekan tiang pancang dapat dihitung dengan Persamaan (3.1).

$$w_{\text{tekan}} = \left(\frac{l}{h_t}\right) \sum_{l=1}^b \sum_{j=1}^a w_{lj} \quad (3.1)$$

di mana:

a = banyaknya sub-aktivitas maksimum

b = banyaknya segmen maksimum

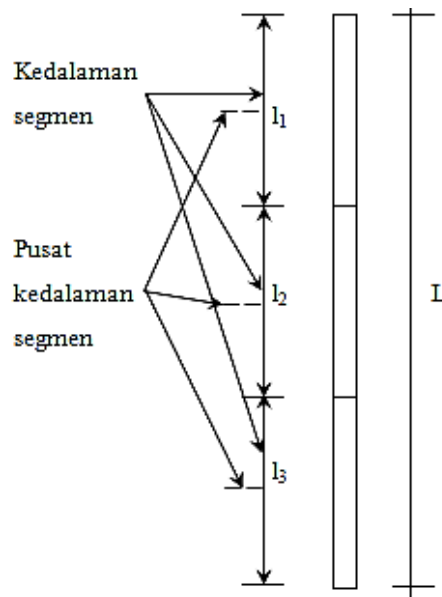
$h_t$  = panjang tekan (1,6 m)

j = sub-aktivitas

l = kedalaman segmen atau segmen

$w_{lj}$  = waktu sub-aktivitas j pada segmen l

$w_{\text{tekan}}$  = waktu tekan tiang pancang



Gambar 3-9. Segmen Kedalaman Pemancangan

2) Menentukan waktu aktivitas lainnya

Waktu aktivitas lainnya meliputi waktu aktivitas menyiapkan tiang pancang ( $w_{siap}$ ) dan waktu memindahkan alat ke titik berikutnya ( $w_{pindah}$ ) yang akan diperhitungkan dalam penelitian ini. Mesin *crane* melakukan aktivitas menyiapkan tiang pancang dan ruyung. Mesin las melakukan pekerjaan tunggal yaitu mengelas sambungan tiang pancang menggunakan las ikat pada sudut-sudut sisi sambungan, sehingga waktu pengelasan cukup singkat. Pengelasan ini tidak memenuhi persyaratan sambungan tiang pancang namun hal ini merupakan permintaan konsumen sesuai kesepakatan biaya pekerjaan. Oleh karena itu, waktu pengelasan tidak dimasukkan dalam perhitungan ini. Aktivitas memindahkan alat ke titik berikutnya dilakukan oleh mesin *HSPD*.

Merujuk pada Persamaan (2.9) pada sub bab 2.5, yaitu  $OAT = C_r + (1 - \delta)F_r + \delta T_r + P_r + A + M$ , maka waktu aktivitas lainnya dapat dihitung dengan Persamaan (3.2).

$$w_{lainnya} = w_{siap} + w_{pindah} \quad (3.2)$$

di mana:

$w_{pindah}$  = waktu pindah alat ke titik pancang berikutnya

$w_{siap}$  = waktu menyiapkan tiang pancang

3) Menentukan waktu siklus pemancangan

Waktu siklus pemancangan merupakan penjumlahan waktu aktivitas pemancangan. Merujuk pada Persamaan (2.10) pada sub bab 2.5, yaitu  $TD = TDT + OAT$ , maka waktu siklus ( $w_s$ ) dapat dihitung dengan Persamaan (3.3).

$$w_s = w_{siap} + w_{tekan} + w_{pindah} \quad (3.3)$$

4) Menentukan model produktivitas

Waktu siklus berdistribusi normal diperlukan untuk menghitung estimasi produktivitas aktual. Produktivitas menggunakan satuan titik/jam, sedangkan waktu siklus dalam menit maka perlu konversi ke jam menggunakan 60 menit/jam. Satu siklus aktivitas pemancangan menghasilkan 1 titik pancang. Oleh karena itu, untuk menentukan produktivitas, 60 menit/jam dibagi dengan waktu siklus, sehingga menghasilkan banyaknya titik pancang yang dapat dipancarkan tiap jam.

Observasi tidak mencatat waktu tunggu antar titik pancang yang diakibatkan oleh kegiatan di luar aktivitas pemancangan, sehingga produktivitas yang dihasilkan

merupakan produktivitas dalam 1 jam tanpa adanya waktu tunggu. Merujuk pada Persamaan (2.12) pada sub bab 2.5, yaitu  $P = \frac{1}{ws}$ , maka produktivitas dapat dihitung dengan Persamaan (3.4).

$$AP_{EMA} = \frac{60}{ws} \quad (3.4)$$

di mana:

$AP_{EMA}$  = estimasi produktivitas aktual model analitis (titik/jam)

$ws$  = waktu siklus (menit)

60 = konversi menit ke jam

Uraian di atas menggambarkan kondisi pemancangan sesuai observasi lapangan, sehingga menghasilkan bentuk matematika model analitis. Waktu menyiapkan tiang pancang ( $w_{siap}$ ) dan waktu pindah alat ke titik pancang berikutnya ( $w_{pindah}$ ) cenderung konstan pada: semua ukuran tiang pancang dan semua kedalaman pemancangan. Waktu tekan tiang pancang ( $w_{tekan}$ ) berubah-ubah sesuai: ukuran tiang pancang dan kedalaman pemancangan. Bentuk matematika model analitis tersebut, bila diberi *input* data waktu siklus pada berbagai ukuran tiang pancang dan kedalaman pemancangan maka menghasilkan variasi nilai produktivitas yang dapat membentuk grafik produktivitas. Grafik hasil model menggambarkan estimasi produktivitas aktual dalam satuan titik/jam untuk 2 ukuran penampang tiang pancang ( $\Delta 32 \times 32 \times 32$  cm,  $\square 25 \times 25$  cm) pada kedalaman pemancangan 6 – 12 m menggunakan panjang tiang pancang 6 m.

Produktivitas yang realistis harus mempertimbangkan: kondisi operasi alat, pemeliharaan mesin, dan efisiensi operator. Hal-hal tersebut dipertimbangkan dalam model dengan faktor koreksi (FK) yang diusulkan menggunakan Tabel 2.1 dan Tabel 2.4 pada sub bab 2.2. Berdasar pengamatan pada penelitian awal yang telah dilakukan di Universitas Islam Lamongan (01-09-2012), Politeknik Ilmu Pelayaran di Semarang (06-09-2012), Fakultas Hukum Universitas Negeri Semarang (17-09-2012), dan PT. EVERWIN di Gresik (05-11-2012), operator bekerja secara maksimal menggunakan kecakapannya yang dibuktikan dengan tidak adanya waktu tunda antar pergantian aktivitas pemancangan. Hal tersebut bila dihubungkan dengan uraian pada sub bab 2.11, maka operator dalam penelitian ini diasumsikan cakap dan berpengalaman. Selanjutnya berdasar Tabel 2.1 dan Tabel 2.4 pada sub bab 2.2, maka FK diusulkan menggunakan nilai 0,83.



Bentuk matematika hasil model analitis pada Persamaan (3.4) dapat dikembangkan untuk berbagai kondisi, misalnya:

- 1) Saat perencanaan dengan kondisi operasi alat, pemeliharaan mesin, dan efisiensi operator tertentu, sehingga diperoleh  $FK_{rencana}$  maka estimasi produktivitas aktual rencana ( $AP_{ER}$ ) dihitung dengan Persamaan (3.5) yang merujuk pada Persamaan (2.5) pada sub bab 2.5, yaitu  $AP = P_{mak} \times FK$ .

$$AP_{ER} = AP_{EMA} \times \frac{FK_{rencana}}{0,83} \quad (3.5)$$

di mana:

$AP_{ER}$  = estimasi produktivitas aktual rencana (titik/jam)

$AP_{EMA}$  = estimasi produktivitas aktual model analitis (titik/jam)

$FK_{rencana}$  = faktor koreksi rencana

0,83 = faktor koreksi saat observasi

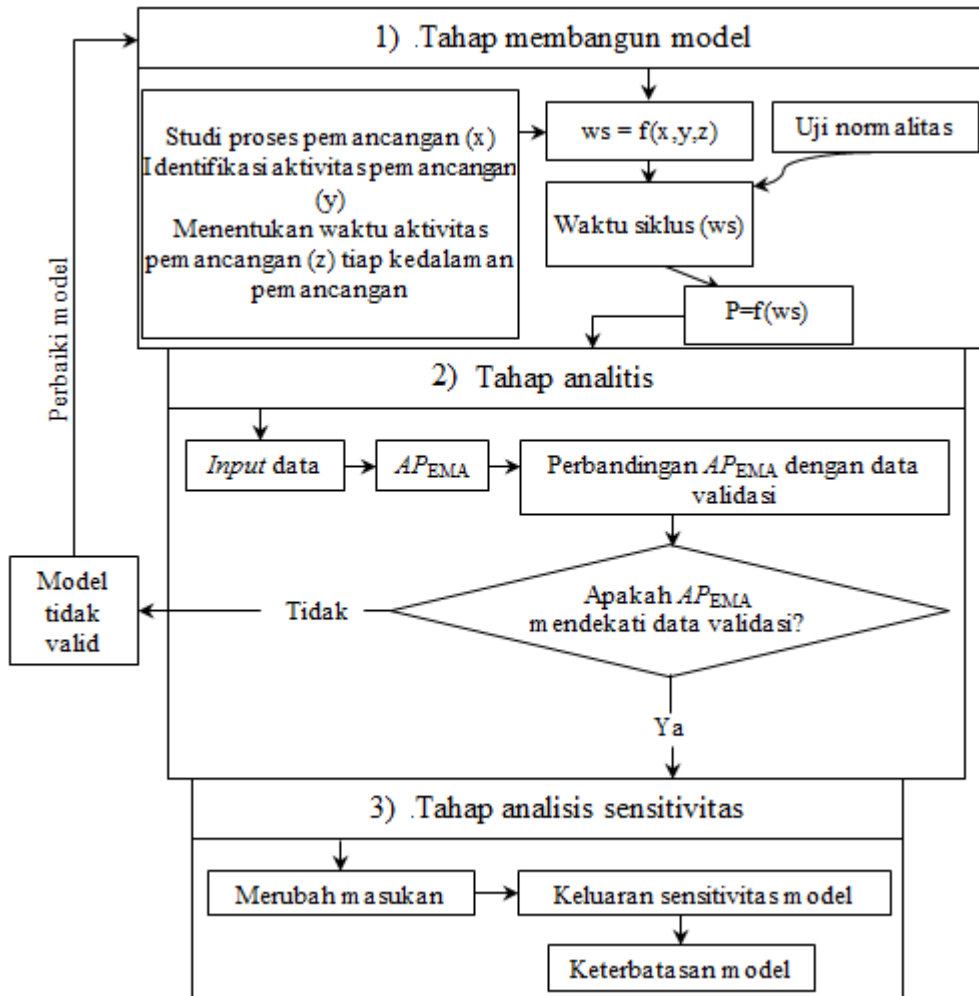
- 2) Bila dikehendaki satuan produktivitas dalam titik/hari atau m<sup>3</sup>/jam maka estimasi produktivitas aktual hasil model analitis dikalikan dengan jumlah jam kerja harian atau kedalaman pemancangan.
- 3) Pada tipe alat dan ukuran tiang pancang yang lebih besar dapat juga dibuat grafik produktivitasnya dengan pengukuran waktu tekan (waktu tidak tentu) dan mengambil waktu tertentu secara acak dari data observasi penelitian ini, sehingga diperoleh waktu siklus. Selanjutnya estimasi produktivitas aktual model analitis diperoleh dengan Persamaan (3.4).

Pemodelan analitis ini melalui 3 tahap utama, yaitu:

- 1) Tahap membangun model
- 2) Tahap analitis
- 3) Tahap analisis sensitivitas.

Tahap membangun model dilakukan dalam beberapa langkah, yaitu: studi proses pemancangan (x), identifikasi aktivitas pemancangan (y), menentukan waktu aktivitas pemancangan (z), uji normalitas data waktu siklus, dan membangun model produktivitas secara analitis. Secara matematis dapat dinyatakan dengan  $ws = f(x,y,z)$  dan produktivitas =  $f(ws)$ . Tahap analitis dilakukan dengan proses *input* data pada persamaan produktivitas, sehingga menghasilkan keluaran model analitis ( $AP_{EMA}$ ).  $AP_{EMA}$  dibandingkan dengan kumpulan data validasi untuk memeriksa validitas model. Jika hasil model tidak diperoleh kecocokan yang signifikan dengan kumpulan data validasi maka dilakukan perbaikan

model agar diperoleh hasil yang mendekati kumpulan data validasi. Tahap analisis sensitivitas dilakukan untuk memeriksa pengaruh perubahan keluaran model bila diberikan perubahan masukan, sehingga diketahui keterbatasan model. Kerangka kerja model analitis ditunjukkan dalam Gambar 3-10.



Gambar 3-10. Kerangka Kerja Model Analitis

### 3.5.2 Model Simulasi Cyclone

*Cyclone* menggunakan jaringan beberapa elemen pemodelan yang diidentifikasi dengan angka bulat unik. Berdasar Gambar 2-12 pada sub bab 2.5.2, elemen pemodelan yang digunakan dalam pemodelan ini yaitu:

- 1) *Combination Activity (Combi)*, menggambarkan aktivitas kondisional, digambarkan dengan persegi panjang dan *slash* pada pojok kiri atas persegi panjang. *Combi* harus didahului dengan satu atau beberapa *Queue* sebagai titik *input*-nya dan titik *output*-nya dapat dihubungkan dengan elemen lainnya.

- 2) *Normal Activity (Normal)*, menggambarkan kumpulan aktivitas yang dibedakan dari aktivitas kondisional, digambarkan dengan persegi panjang. *Normal* dapat didahului dengan berbagai elemen sebagai titik *input*-nya kecuali *Queue* dan titik *output*-nya dapat dihubungkan dengan elemen lainnya kecuali *Combi*.
- 3) *Queue node (Queue)*, menggambarkan layanan antrian entitas, digambarkan dengan lingkaran dan *slash* pada pojok kanan bawah. *Queue* hanya diikuti oleh *Combi*.
- 4) *Counter Element (Counter)*, menggambarkan *output* perhitungan akhir seluruh entitas yang dialirkan melaluinya, digambarkan dengan lingkaran dengan lambang bendera di atasnya. *Counter* dapat dihubungkan dengan elemen lainnya pada titik *input*-nya kecuali *Queue* dan titik *output*-nya dapat dihubungkan dengan elemen lainnya kecuali *Combi*. *Counter* berguna untuk menentukan penghentian simulasi dan untuk memonitor berbagai hal hasil simulasi selama eksekusi.
- 5) *Arrow*, menunjukkan arah aliran jaringan, digambarkan dengan tanda panah. *Arrow* menghubungkan titik *output* elemen ke titik *input* elemen lainnya.

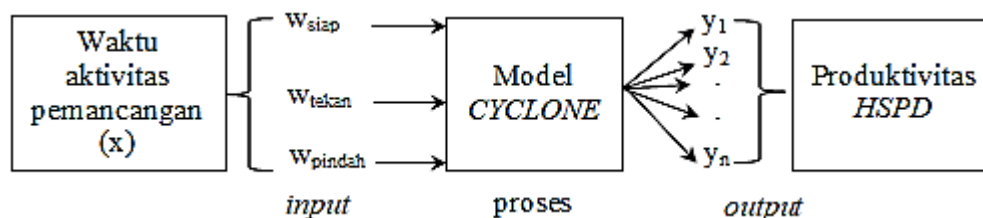
Oleh karena itu, model *Cyclone* dapat digunakan karena:

- 1) *Cyclone* merupakan alat simulasi sistem diskrit yang didesain secara khusus untuk simulasi proses konstruksi dengan sistem kerja berdasarkan jaringan yang dibangun.
- 2) *Cyclone* sebagai alat simulasi konstruksi yang sangat sederhana dan mudah digunakan.
- 3) *Cyclone* memberikan hasil estimasi produktivitas dengan variabel deterministik atau stokastik

Produktivitas pemancangan menggunakan *HSPD* merupakan proses konstruksi yang sederhana, karena hanya melibatkan satu peralatan utama dan dua alat bantu. Data waktu masing-masing aktivitas pemancangan digunakan sebagai *input* pemodelan. Produktivitas dapat disimulasikan dengan simulasi *Cyclone* menggunakan *input* waktu aktivitas pemancangan. Oleh karena itu, model simulasi *Cyclone* dapat digunakan untuk menentukan produktivitas *HSPD*.

Konseptual model simulasi *Cyclone* ditunjukkan pada Gambar 3-11. Produktivitas *HSPD* dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus. Ukuran tiang pancang digunakan untuk membedakan model grafik produktivitas *HSPD*. Model simulasi *Cyclone* menggunakan waktu aktivitas pemancangan yang terdiri dari  $w_{\text{siap}}$ ,  $w_{\text{tekan}}$ , dan  $w_{\text{pindah}}$  sebagai variabel. Variabel kedalaman pemancangan digunakan untuk memisahkan bentuk model proses pemancangan. Produktivitas disimulasikan untuk tiap kedalaman pemancangan,

selanjutnya hasil digabungkan, sehingga menjadikan kedalaman pemancangan sebagai variabel. Kumpulan data waktu aktivitas-aktivitas pemancangan digunakan sebagai *input* (x) rancangan model, sehingga menghasilkan kumpulan *output* (y) yang menunjukkan variasi nilai.



Gambar 3-11. Konseptual Model Simulasi *Cyclone*

Model simulasi didekati berdasar observasi proses pemancangan, sama halnya dengan model analitis yang harus memperhatikan tahap-tahap pemancangan. Desain model simulasi tergantung program yang digunakan. Program simulasi *Cyclone Template* dengan tujuan khusus yang terintegrasi dalam *software Symphony 4.0* dibangun oleh AbouRizk pada Juni 2012 dengan seri 4.0.0.120 dan terus diperbaharui sampai April 2017 dengan seri 4.6.0.261 yang digunakan untuk pendekatan model produktivitas *HSPD*. Program ini dioperasikan dalam sistem *windows* yang sesuai dengan kondisi saat ini, sehingga mudah diaplikasikan.

Langkah-langkah desain model simulasi *Cyclone* sebagai berikut:

1) Mengidentifikasi unit aliran sumberdaya

Simulasi proses pemancangan terdiri dari beberapa tugas kerja yang berupa aktivitas-aktivitas pemancangan. Realisasi tugas kerja membutuhkan sumberdaya yang meliputi: pekerja, peralatan, dan material. Sumberdaya dalam kondisi aktif bila melakukan tugas kerja dan menganggur untuk menunggu kesempatan menjadi aktif guna menyelesaikan tugas kerja. Langkah awal pemodelan ini harus mengetahui unit sumberdaya yang akan digunakan lalu mengidentifikasi tugas kerjanya dan menentukan urutan tugas kerja.

2) Menyiapkan data simulasi

Kumpulan data durasi waktu normal aktivitas pemancangan yang digunakan dalam pemodelan analitis digunakan dalam pemodelan simulasi ini dengan cara menyimpan file data durasi waktu normal dalam format *csv* (*comma delimited*).

3) Membangun rancangan model *Cyclone* operasi pemancangan

Elemen-elemen *Cyclone* pada Gambar 2-12 sub bab 2.5 digunakan untuk merancang model operasi pemancangan. Sumberdaya dalam kondisi aktif saat melakukan tugas kerja dimodelkan dengan elemen *NORMAL* atau *COMBI*.

Sumberdaya dalam kondisi pasif atau menganggur dimodelkan dengan elemen *QUEUE*. Elemen *NORMAL* bila *input*-nya bukan elemen *QUEUE* sedangkan elemen *COMBI* bila *input*-nya hanya elemen *QUEUE*. *Output* elemen *COMBI* dapat dihubungkan dengan elemen apa saja. *Output* elemen *NORMAL* dapat dihubungkan dengan elemen apa saja kecuali *COMBI*. Elemen *COUNTER* dapat dihubungkan dengan titik *input* elemen apa saja kecuali *QUEUE* dan *output*-nya dapat dihubungkan dengan elemen apa saja kecuali *COMBI*. Elemen pemodelan dihubungkan dengan garis untuk menunjukkan aliran unit (Symphony.NET Development Team, 2011).

Merujuk pada Gambar 2-13(a) sub bab 2.5, maka rancangan model operasi pemancangan ditunjukkan pada Gambar 3-12.

4) Memasukkan data durasi waktu aktivitas pemancangan

*Input* elemen *COMBI* dan *NORMAL* dapat berupa durasi waktu deterministik atau stokastik. Data waktu normal stokastik masing-masing aktivitas digunakan untuk *input* simulasi dengan distribusi normal.

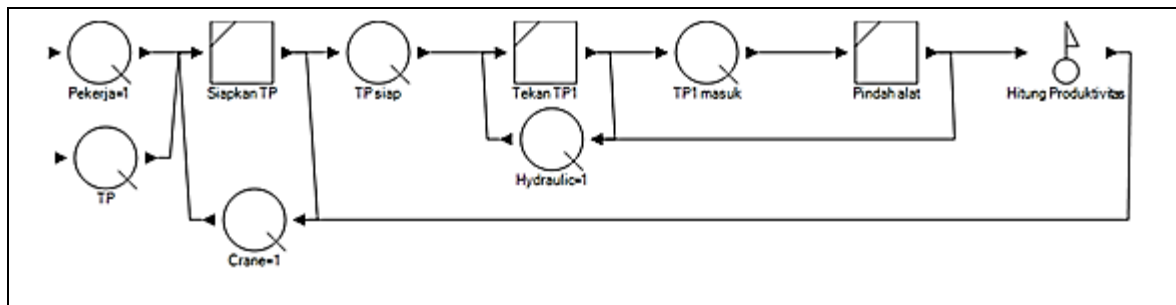
5) Menjalankan program

Skenario perhitungan dijalankan sebanyak yang diinginkan, misalnya 21 kali, sehingga menghasilkan *output* yang bervariasi untuk diambil nilai rata-ratanya.

6) Menentukan model produktivitas

*Output* program berupa 21 nilai produktivitas sesuai skenario perhitungan untuk masing-masing klasifikasi yaitu: ukuran tiang pancang, dan kedalaman pemancangan. Nilai produktivitas diambil nilai rata-rata dari keluaran program tersebut atau dicari melalui hubungan linier menggunakan excel sebagai produktivitas hasil simulasi.

Kumpulan nilai produktivitas hasil simulasi pada masing-masing klasifikasi dicari hubungan liniernya menggunakan excel, sehingga menghasilkan membentuk grafik produktivitas. Grafik hasil model menggambarkan estimasi produktivitas aktual dalam satuan titik/jam untuk 2 ukuran penampang tiang pancang ( $\Delta$ 32x32x32 cm dan  $\square$ 25x25 cm), kedalaman pemancangan 6 – 12 m.



Gambar 3-12. Rancangan Model Simulasi *Cyclone*

Produktivitas yang realistis harus mempertimbangkan: kondisi operasi alat, pemeliharaan mesin, dan efisiensi operator. Hal-hal tersebut dipertimbangkan dalam model dengan faktor koreksi (FK) yang diusulkan menggunakan Tabel 2.1 dan Tabel 2.4 pada sub bab 2.2. Berdasar pengamatan pada penelitian awal yang telah dilakukan di Universitas Islam Lamongan (01-09-2012), Politeknik Ilmu Pelayaran di Semarang (06-09-2012), Fakultas Hukum Universitas Negeri Semarang (17-09-2012), dan PT. EVERWIN di Gresik (05-11-2012), operator bekerja secara maksimal menggunakan kecakapannya yang dibuktikan dengan tidak adanya waktu tunda antar pergantian aktivitas pemancangan. Hal tersebut bila dihubungkan dengan uraian pada sub bab 2.11, maka operator dalam penelitian ini diasumsikan cakap dan berpengalaman. Selanjutnya berdasar Tabel 2.1 dan Tabel 2.4 pada sub bab 2.2, maka FK diusulkan menggunakan nilai 0,83. Estimasi produktivitas aktual model simulasi yang diperoleh dari excel dapat dikembangkan untuk berbagai kondisi, misalnya:

- 1) Saat perencanaan dengan kondisi operasi alat, pemeliharaan mesin, dan efisiensi operator tertentu sehingga diperoleh  $FK_{rencana}$  maka estimasi produktivitas aktual rencana ( $AP_{ER}$ ) dihitung dengan Persamaan (3.6) yang merujuk pada Persamaan (2.5) pada sub bab 2.5, yaitu  $AP = P_{mak} \times FK$ .

$$AP_{ER} = AP_{EMS} \times \frac{FK_{rencana}}{0,83} \quad (3.6)$$

di mana:

$AP_{ER}$  = estimasi produktivitas aktual rencana (titik/jam)

$AP_{EMS}$  = estimasi produktivitas aktual model simulasi (titik/jam)

$FK_{rencana}$  = faktor koreksi rencana

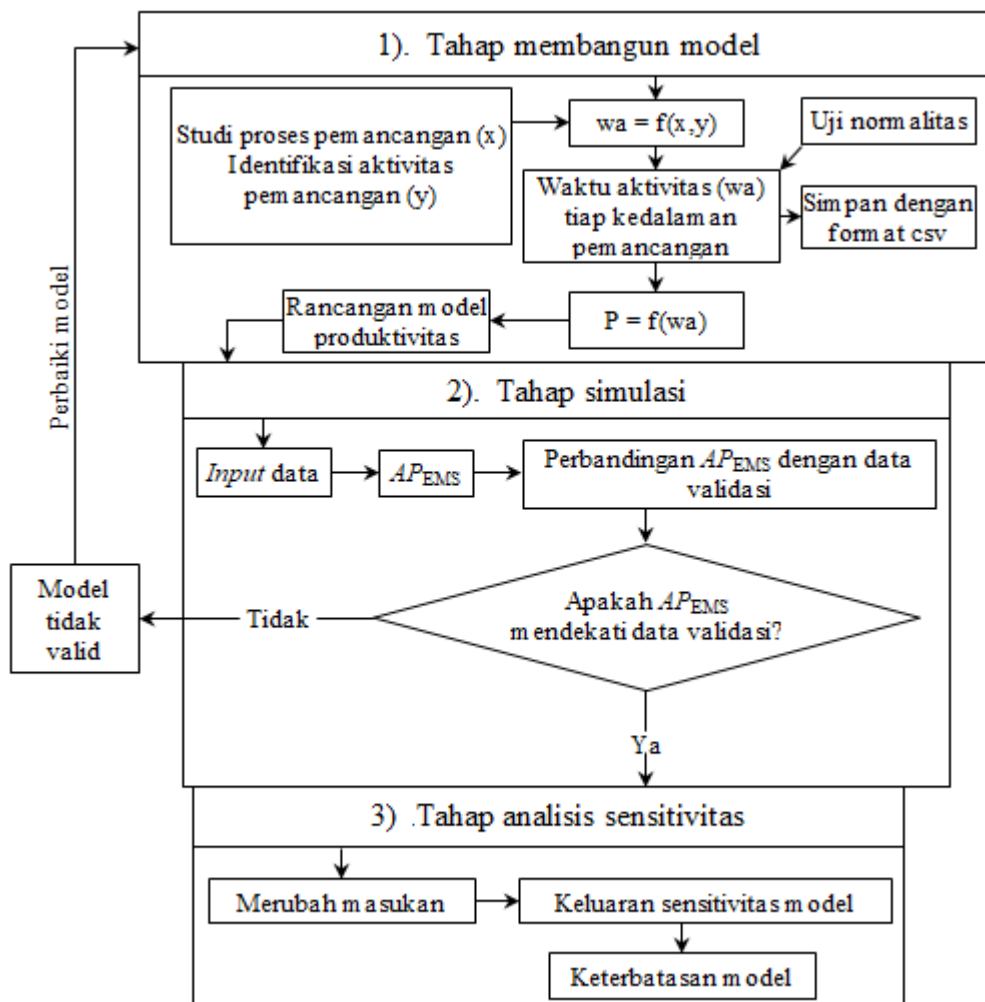
0,83 = faktor koreksi saat observasi

- 2) Bila dikehendaki satuan produktivitas dalam titik/hari atau  $m^3/jam$  maka estimasi produktivitas aktual hasil model analitis dikalikan dengan jumlah jam kerja harian atau kedalaman pemancangan.
- 3) Pada tipe alat dan ukuran tiang pancang yang lebih besar dapat juga dibuat grafik produktivitasnya dengan melakukan pengukuran waktu tekan (waktu tidak tentu) dan mengambil waktu tertentu secara acak dari data observasi penelitian ini, sehingga diperoleh waktu siklus. Selanjutnya estimasi produktivitas aktual dapat dilakukan menggunakan rancangan model simulasi di atas.

Model simulasi *Cyclone* yang digunakan untuk proses pemancangan melalui 3 tahap utama, yaitu:

- 1) Tahap membangun model
- 2) Tahap simulasi
- 3) Tahap analisis sensitivitas.

Tahap membangun model dilakukan dengan: studi proses pemancangan ( $x$ ), identifikasi aktivitas pemancangan ( $y$ ), untuk mendapatkan waktu aktivitas ( $w_a$ ) tiap kedalaman pemancangan ( $L$ ), uji normalitas waktu aktivitas untuk mengetahui distribusinya, menyimpan file data waktu dalam format *csv*, dan membangun rancangan model produktivitas dengan simulasi *Cyclone*. Secara matematis dapat dinyatakan dengan  $w_a = f(x,y)$  dan produktivitas =  $f(w_a)$ . Tahap simulasi dilakukan dengan proses *input* model pada rancangan model, sehingga menghasilkan keluaran model simulasi ( $AP_{EMS}$ ). Keluaran model dibandingkan dengan kumpulan data validasi untuk memeriksa validitas model. Jika hasil model tidak diperoleh kecocokan yang signifikan dengan kumpulan data validasi maka dilakukan perbaikan model agar diperoleh hasil yang mendekati kumpulan data validasi. Tahap analisis sensitivitas dilakukan untuk memeriksa pengaruh perubahan keluaran model bila diberikan perubahan masukan, sehingga diketahui keterbatasan model. Kerangka kerja model simulasi *Cyclone* ditunjukkan dalam Gambar 3-13.



Gambar 3-13. Kerangka Kerja Model Simulasi *Cyclone*

### 3.5.3 Model Regresi

Bentuk persamaan estimasi regresi linier sederhana seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.16) pada bab sebelumnya, yaitu:  $\hat{y}_i = b_0 + b_1x_i$ . Konstanta ( $b_0$ ) dan kemiringan ( $b_1$ ) merupakan parameter yang harus ditemukan dari sekumpulan data untuk mendapatkan model regresi linier terbaik. Model regresi terbaik dapat diestimasi menggunakan nilai  $R^2$  (koefisien determinasi) yang menunjukkan proporsi dari variasi variabel dependen yang dijelaskan oleh persamaan estimasi. Nilai  $R^2$  antara 0 dan 1, nilai 0 mengindikasikan bahwa variabel independen ( $x$ ) secara mutlak tidak digunakan sebagai prediktor variabel dependen ( $y$ ), sedangkan nilai 1 mengindikasikan bahwa data variabel independen ( $x$ ) digunakan secara persis sepanjang garis lurus.

Data waktu siklus yang dikumpulkan untuk masing-masing kedalaman pemancangan digunakan untuk menghitung produktivitas aktual menggunakan Persamaan (2.4) yaitu

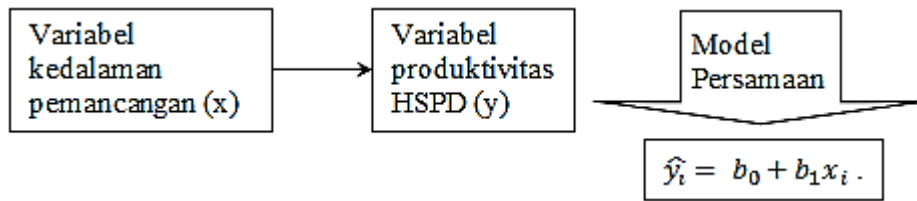


$AP = \frac{1}{ws}$ , sehingga diperoleh sekumpulan data produktivitas pada masing-masing kedalaman pemancangan. Produktivitas yang mewakili pada suatu kedalaman pemancangan dapat diramalkan melalui hubungan variabel produktivitas sebagai variabel dependen dan data kedalaman pemancangan sebagai variabel independen. Oleh karena itu, model regresi dapat digunakan untuk memecahkan masalah produktivitas.

Variabel dependen dan independen diperlukan dalam regresi. Variabel dependen (produktivitas aktual) dihitung berdasar data waktu siklus hasil observasi dan simulasi menggunakan Persamaan (2.4) pada sub bab 2.5, yaitu  $AP = \frac{1}{ws}$ . Variabel independen (kedalaman pemancangan) diamati di lapangan. Data produktivitas aktual sebagai variabel dependen harus berdistribusi normal yang dibuktikan dengan uji normalitas. Data variabel independen mempunyai nilai tertentu dan bukan merupakan nilai acak, sehingga tidak dilakukan uji normalitas.

Produktivitas tidak dapat diukur secara langsung karena pondasi tersusun dalam beberapa *pile caps* yang mengakibatkan waktu pindah alat antar *pile caps* dengan waktu pindah alat antar tiang pancang dalam 1 *pile cap* berbeda cukup signifikan, sehingga bila produktivitas diukur tiap jam secara langsung akan memberikan hasil yang tidak konsisten. Oleh karena itu, produktivitas dihitung untuk tiap titik pancang berdasar waktu siklusnya. Masing-masing waktu aktivitas diukur dapat memperkecil kesalahan dibandingkan dengan mengukur waktu siklus secara langsung, karena masing-masing aktivitas dapat diamati dan mudah diberikan koreksi apabila terdapat kesalahan pengamatan.

Produktivitas *HSPD* dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus. Ukuran tiang pancang bersifat kualitatif dan mempengaruhi waktu siklus pada kedalaman pemancangan yang sama. Artinya bahwa ukuran tiang pancang dan waktu siklus terjadi korelasi yang kuat. Oleh karena itu, ukuran tiang pancang digunakan untuk membedakan model grafik produktivitas *HSPD* dan parameter waktu siklus digunakan untuk menghitung produktivitas aktual. Dengan demikian, produktivitas sebagai variabel dependen dan kedalaman pemancangan sebagai variabel independen, sehingga diperlukan model regresi linier sederhana untuk penelitian ini. Konseptual model regresi ditunjukkan pada Gambar 3-14. Variabel independen (x) dan dependen (y) mempunyai hubungan matematis yang dapat diwakili dengan persamaan linier. Bentuk persamaan linier diberi *input* nilai x sehingga menghasilkan *output* (y).



Gambar 3-14. Konseptual Model Regresi

Model regresi dapat dibangun dengan bantuan berbagai *software* yang tersedia, misalnya *software SPSS (Statistical Package for the Social Science)* atau menggunakan excel. Prosedur membangun model regresi linier menggunakan excel dapat dilakukan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1) Menyiapkan data masukan

Data hasil observasi dikelompokkan berdasar ukuran penampang tiang pancang. Waktu siklus (*ws*) pada masing-masing kedalaman pemancangan (*L*) digunakan untuk menghitung produktivitas aktual (*AP*) dengan Persamaan (2.4) pada sub bab 2.5, yaitu  $AP = \frac{1}{ws}$ . Kedalaman pemancangan (*L*) dan produktivitas aktual (*AP*) digunakan sebagai *input* pemodelan regresi. Analisis data statistik inferensia parametrik dengan statistik regresi memerlukan data berskala rasio/interval dan berdistribusi normal. Data diuji secara statistik dengan uji *Kolmogorov-Smirnov*, bila nilai *Significance* lebih besar  $\alpha = 0,05$  maka data berdistribusi normal. Data diuji dengan uji *Skewness* menggunakan Persamaan (2.14a) yaitu  $z_{skew} = \frac{Skewness-0}{\sqrt{\frac{6}{N}}}$  dan uji *Kurtosis* menggunakan Persamaan (2.14b) yaitu  $z_{kurt} = \frac{Kurtosis-0}{\sqrt{\frac{24}{N}}}$  pada sub bab 2.5, bila nilai kritisnya kurang dari 2,58 untuk  $\alpha = 0,01$  maka data berdistribusi normal. Jika sebaran data tidak normal maka dapat dilakukan transformasi data (dalam bentuk: akar kuadrat, *arcsin*, dan log 10), atau menambah jumlah data, atau mengeluarkan data *outlier*.

2) Analisis regresi linier

Data berdistribusi normal siap dianalisis dengan regresi linier menggunakan *software SPSS* atau excel. Regresi linier sederhana akan melihat hubungan antara 1 variabel dependen (variabel *AP*) dengan 1 variabel independen (variabel *L*). Regresi linier sederhana digunakan untuk menyelidiki korelasi variabel independen dengan variabel dependen. Variabel dependen dan independen dipilih dan dimasukkan dalam kotak isian variabel dan dilakukan pengaturan seperlunya sehingga diperoleh *output* program

yang menghasilkan persamaan matematika. Jika menggunakan *excel*, variabel dependen dan independen diplot sehingga diperoleh persamaan regresi linier.

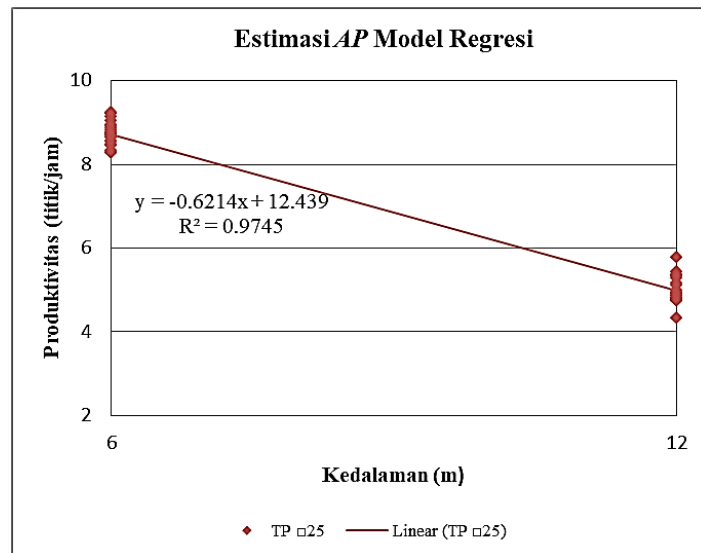
3) Menguji asumsi-asumsi regresi linier

*Output* program dilakukan pengujian-pengujian untuk memeriksa asumsi-asumsi yang diperlukan. Asumsi-asumsi utama yang harus dipenuhi untuk mendapatkan bentuk regresi yang baik adalah nilai  $R^2$  mendekati 1.

4) Membangun persamaan matematika model

*Output* regresi menggunakan *excel* memberikan nilai-nilai persamaan regresi seperti ditunjukkan pada Gambar 3-15. Model matematika yang dibangun oleh *excel* menunjukkan bentuk persamaan regresi  $AP_{EMR}$  (estimasi produktivitas aktual model regresi) yang membentuk grafik produktivitas.

Grafik hasil model menggambarkan estimasi produktivitas aktual dalam satuan titik/jam untuk 2 ukuran penampang tiang pancang ( $\Delta 32 \times 32 \times 32$  cm,  $\square 25 \times 25$  cm) pada kedalaman pemancangan 6 – 12 m.



Gambar 3-15. Contoh *Output* Regresi

Produktivitas yang realistis harus mempertimbangkan: kondisi operasi alat, pemeliharaan mesin, dan efisiensi operator. Hal-hal tersebut dipertimbangkan dalam model dengan faktor koreksi (FK) yang diusulkan menggunakan Tabel 2.1 dan Tabel 2.4 pada sub bab 2.2. Berdasar pengamatan pada penelitian awal yang telah dilakukan di Universitas Islam Lamongan (01-09-2012), Politeknik Ilmu Pelayaran di Semarang (06-09-2012), Fakultas Hukum Universitas Negeri Semarang (17-09-2012), dan PT. EVERWIN di Gresik (05-11-2012), operator bekerja secara maksimal menggunakan kecakapannya yang

dibuktikan dengan tidak adanya waktu tunda antar pergantian aktivitas pemancangan. Hal tersebut bila dihubungkan dengan uraian pada sub bab 2.11, maka operator dalam penelitian ini diasumsikan cakap dan berpengalaman. Selanjutnya berdasar Tabel 2.1 dan Tabel 2.4 pada sub bab 2.2, maka FK diusulkan menggunakan nilai 0,83. Estimasi produktivitas aktual model simulasi yang diperoleh dari excel dapat dikembangkan untuk berbagai kondisi, misalnya:

- 1) Saat perencanaan dengan kondisi operasi alat, pemeliharaan mesin, dan efisiensi operator tertentu sehingga diperoleh  $FK_{rencana}$  maka estimasi produktivitas aktual rencana ( $AP_{ER}$ ) dihitung dengan Persamaan (3.7) yang merujuk pada Persamaan (2.5) pada sub bab 2.5, yaitu  $AP = P_{mak} \times FK$ .

$$AP_{ER} = AP_{EMR} \times \frac{FK_{rencana}}{0,83} \quad (3.7)$$

di mana:

$AP_{ER}$  = estimasi produktivitas aktual rencana (titik/jam)

$AP_{EMR}$  = estimasi produktivitas aktual model regresi (titik/jam)

$FK_{rencana}$  = faktor koreksi rencana

0,83 = faktor koreksi saat observasi

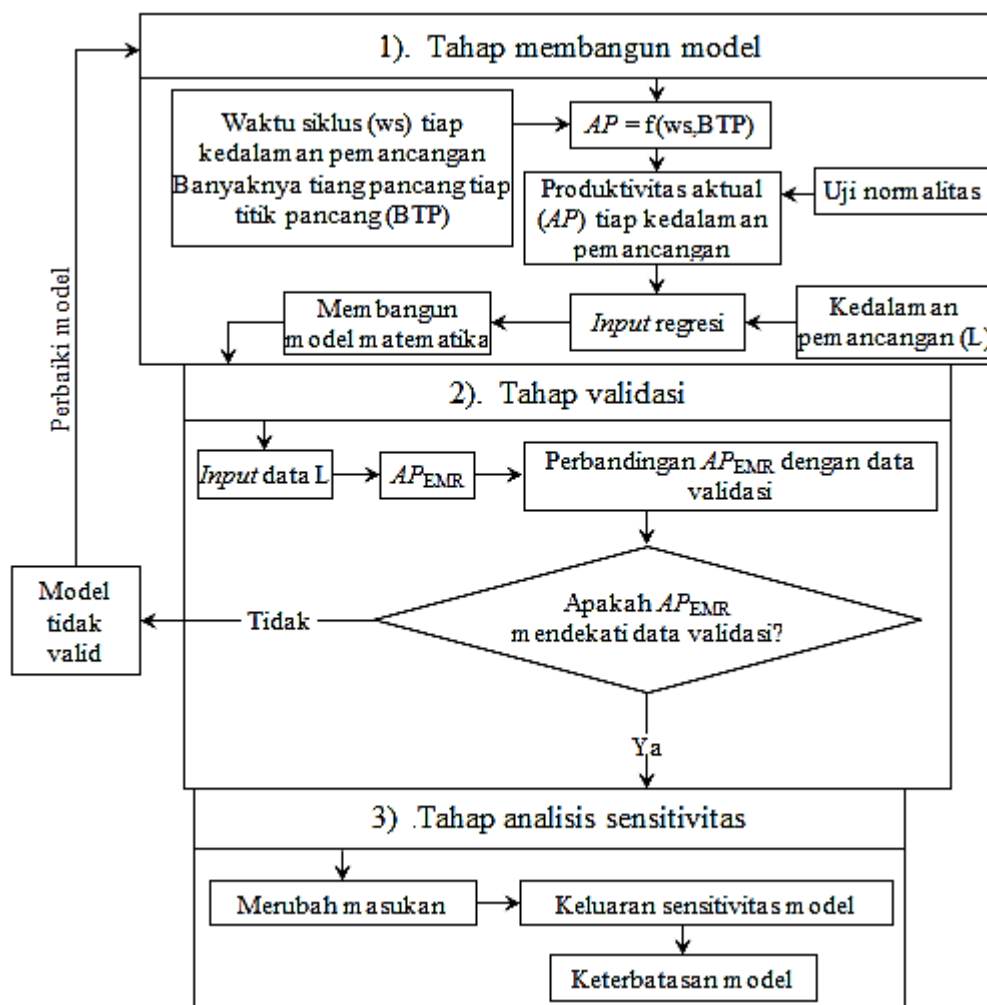
- 2) Bila dikehendaki satuan produktivitas dalam titik/hari atau m'/jam maka estimasi produktivitas aktual hasil model analitis dikalikan dengan jumlah jam kerja harian atau kedalaman pemancangan.
- 3) Pada tipe alat dan ukuran tiang pancang yang lebih besar dapat juga dibuat grafik produktivitasnya dengan melakukan pengukuran waktu tekan (waktu tidak tentu) dan mengambil waktu tertentu secara acak dari data observasi penelitian ini untuk menghitung data produktivitas aktualnya. Selanjutnya dilakukan analisis regresi menggunakan excel.

Model regresi yang digunakan untuk proses pemancangan melalui 3 tahap utama, yaitu:

- 1) Tahap membangun model
- 2) Tahap validasi
- 3) Tahap analisis sensitivitas.

Tahap membangun model dilakukan dengan data waktu siklus (ws) tiap kedalaman pemancangan dan banyaknya tiang pancang tiap titik pancang (BTP), sehingga diperoleh

produktivitas aktual ( $AP$ ) dan diberikan uji normalitas untuk memeriksa distribusi data.  $AP$  berdistribusi normal dan kedalaman pemancangan ( $L$ ) sebagai *input* analisis regresi, sehingga diperoleh persamaan matematika regresi. Tahap validasi dilakukan dengan memberikan *input*  $L$  pada persamaan matematika regresi, sehingga diperoleh estimasi produktivitas aktual model regresi ( $AP_{EMR}$ ).  $AP_{EMR}$  dibandingkan dengan kumpulan data validasi untuk memeriksa validitas model. Jika hasil model tidak diperoleh kecocokan yang signifikan dengan kumpulan data validasi maka dilakukan perbaikan model agar diperoleh hasil yang mendekati kumpulan data validasi. Tahap analisis sensitivitas dilakukan untuk memeriksa pengaruh perubahan  $AP_{EMR}$  bila diberikan perubahan masukan, sehingga diketahui keterbatasan model. Kerangka kerja model regresi ditunjukkan dalam Gambar 3-16.



Gambar 3-16. Kerangka Kerja Model Regresi

### 3.5.4 Model ANN (*Artificial Neural Network*)

Konsep dasar ANN (*Artificial Neural Network*) adalah menyelesaikan masalah dengan teknologi komputer yang diilhami dari sistem kerja jaringan saraf biologis manusia. Otak manusia memiliki jaringan saraf yang kompleks, sehingga mampu mempelajari, mengingat, dan mengembangkan sesuatu. Sel saraf merupakan elemen dasar dari otak, interkoneksi sel saraf yang sangat banyak membentuk struktur otak. Hal ini mengilhami para ahli untuk merancang suatu sistem kecerdasan buatan menggunakan teknologi komputer yang memiliki kemampuan seperti sistem saraf manusia, sebagai generalisasi model matematika dari jaringan saraf biologi. Sistem kecerdasan buatan memiliki mekanisme kerja seperti otak dan saraf biologis manusia yang mampu belajar dari data-data contoh yang diberikan padanya.

ANN dibentuk dari ratusan unit tunggal, neuron tiruan, dan hubungan dengan koefisien (*weights*), yang merupakan struktur saraf dan diorganisir dalam lapisan (*layers*). Kemampuan perhitungan saraf berasal dari hubungan saraf-saraf dalam jaringan. Perilaku jaringan saraf ditentukan oleh fungsi transfer dari neuronnya, kaidah pembelajaran, dan arsitekturnya. Oleh karena itu, model ANN dapat digunakan karena:

- 1) Terdapat variabel independen (prediktor) yaitu kedalaman pemancangan dan variabel dependen yaitu produktivitas. Variabel dependen dengan data statistik non-linier yang disebabkan oleh perbedaan banyaknya aktivitas pemancangan, sehingga tidak mudah diselesaikan secara analitis.
- 2) ANN mampu menemukan pola data dari hubungan kompleks antara *input* dan *output* melalui tahap pelatihan, sehingga diperoleh hasil terbaik.
- 3) Data waktu siklus yang dikumpulkan untuk masing-masing kedalaman pemancangan digunakan untuk menghitung produktivitas aktual menggunakan Persamaan (2.4) pada sub bab 2.5, yaitu  $AP = \frac{1}{ws}$ , sehingga diperoleh sekumpulan data produktivitas pada masing-masing kedalaman pemancangan. Produktivitas yang mewakili pada suatu kedalaman pemancangan dapat diramalkan melalui struktur ANN dengan melakukan pengaturan: arsitektur jaringan, metode untuk menentukan bobot penghubung, dan fungsi aktivasinya.

Produktivitas *HSPD* dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, waktu siklus, dan pola pemancangan. Dengan

demikian variabel yang dilibatkan adalah: jenis tanah, ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus.

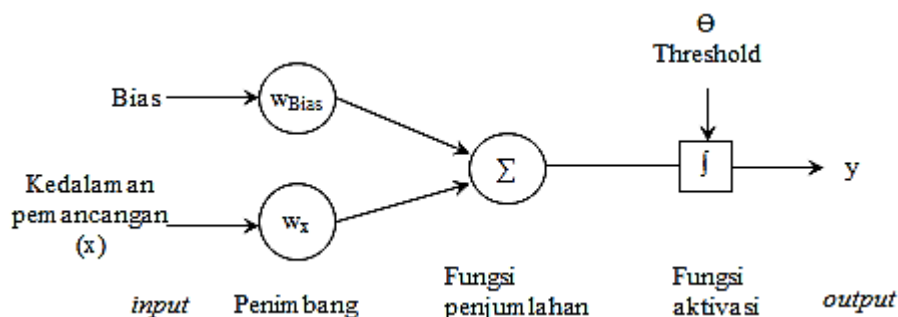
Ukuran tiang pancang bersifat kualitatif dan mempengaruhi waktu siklus pada kedalaman pemancangan yang sama. Artinya bahwa ukuran tiang pancang dan waktu siklus terjadi korelasi yang kuat. Oleh karena itu, ukuran tiang pancang digunakan untuk membedakan model grafik produktivitas *HSPD* dan parameter waktu siklus digunakan untuk menghitung produktivitas aktual. Dengan demikian, produktivitas sebagai variabel dependen dan kedalaman pemancangan sebagai variabel independen, sehingga diperlukan model regresi linier sederhana untuk penelitian ini. Konseptual model regresi ditunjukkan pada Gambar 3-14. Variabel independen ( $x$ ) dan dependen ( $y$ ) mempunyai hubungan matematis yang dapat diwakili dengan persamaan linier. Bentuk persamaan linier diberi *input* nilai  $x$  sehingga menghasilkan *output* ( $y$ ).

Produktivitas *HSPD* dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu siklus. Ukuran tiang pancang bersifat kualitatif dan mempengaruhi waktu siklus pada kedalaman pemancangan yang sama. Oleh karena itu, ukuran tiang pancang digunakan untuk membedakan model grafik produktivitas *HSPD* dan parameter waktu siklus digunakan untuk menghitung produktivitas aktual. Variabel produktivitas sebagai variabel dependen dan kedalaman pemancangan sebagai kovariat yang akan digunakan dalam model *ANN* dengan algoritma *Backpropagation* untuk penelitian ini. *Backpropagation* didesain untuk beroperasi secara *multilayer*, berarsitektur umpan maju (*feedforward network*), menggunakan metode *supervised learning*, dan antar lapisan saling berhubungan (*fully interconnected by layer*).

Konseptual model *ANN* ditunjukkan pada Gambar 3-17. Sinyal *input*  $x$  (kedalaman pemancangan) dan Bias dikalikan dengan masing-masing penimbang yang bersesuaian ( $w$ ). Kemudian dilakukan penjumlahan dari seluruh hasil perkalian tersebut dan dilewatkan ke dalam fungsi aktivasi untuk menghasilkan *output* yang akan dibandingkan dengan *Threshold* ( $\Theta$ ) sehingga menghasilkan *output* terbaik ( $y$ ).

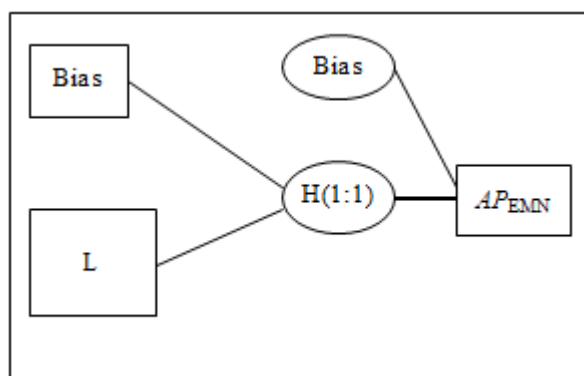
Jaringan saraf dapat dipahami dengan fungsi jaringan *multilayer perceptron* (*MLP*) dan *radial basis function* (*RBF*) yang menggunakan struktur arsitektur umpan maju (*feedforward architecture*). Struktur jaringan terdiri dari 3 bagian, yaitu: lapisan masukan (*input layer*) yang berisi prediktor, lapisan tersembunyi (*hidden layer*) yang berisi unit yang tidak dapat diobservasi, dan lapisan keluaran (*output layer*) yang berisi respon.

Ketiga lapisan tersebut terbentuk secara otomatis setelah program dijalankan untuk memberikan hasil terbaik.



Gambar 3-17. Konseptual Model ANN

Merujuk pada Gambar 2-15 pada sub bab 2.5, maka struktur jaringan umpan maju *MLP* produktivitas pemancangan ditunjukkan pada Gambar 3-18. struktur jaringan terdiri dari prediktor (*input layer*) yaitu kedalaman pemancangan (*L*), 1 *hidden layer* dengan 2 unit, dan 1 *output layer* yaitu produktivitas ( $AP_{EMN}$ ). *Hidden layer* merupakan *black box* yang melakukan proses pembelajaran (*learning*) sehingga diperoleh *output* terbaik.



Gambar 3-18. Struktur Jaringan Umpan Maju Produktivitas Pemancangan

Pemodelan *ANN* dapat dilakukan dengan berbagai program yang tersedia saat ini, salah satu program yang dapat digunakan untuk menjalankan *ANN* adalah program *SPSS* (*Statistical Package for the Social Science*) menggunakan data seperti yang digunakan dalam pemodelan regresi. Langkah pemodelan *ANN* menggunakan *software SPSS* adalah:

- 1) Menyiapkan data model

Data yang disiapkan dalam pemodelan regresi digunakan juga untuk pemodelan *ANN*. Data variabel dependen dan independen berkategori skala sehingga variabel independen sebagai kovariat. Data yang sudah tersusun sebagai *input* model diacak untuk mendapatkan data *training*, *testing* dan *holdout*. Hal ini dimaksudkan untuk



meminimalkan pengaruh urutan kasus, karena metode *training* secara eksplisit tergantung pada urutan kasus. Hasil *ANN* juga dipengaruhi oleh urutan variabel dalam daftar faktor atau kovariat maka urutan variabel dapat diubah untuk mendapatkan kestabilan solusi yang diberikan. Sampel *training* untuk melatih jaringan saraf guna mendapatkan model. Sampel *test* untuk melacak kesalahan selama pelatihan guna mencegah *overtraining*. Sampel *holdout* untuk menilai jaringan saraf final, besarnya kesalahan sampel *holdout* memberikan estimasi kemampuan prediksi model, karena sampel *holdout* tidak digunakan untuk membangun model.

## 2) Melakukan Analisis *ANN*

Data variabel dependen dan independen siap dianalisis *ANN* menggunakan *software SPSS*. Program dijalankan setelah diatur label yang diinginkan sehingga diperoleh *output* model.

Pemodelan *ANN* dengan produktivitas sebagai variabel dependen dan kedalaman pemancangan (L) sebagai kovariat (variabel independen). Model *ANN* dianggap bagus bila kesalahan relatif sampel *holdout* sekecil mungkin. Jika kesalahan relatif tersebut masih cukup tinggi dapat dilakukan pengaturan ulang pada urutan faktor atau kovariat.

*Output ANN* memberikan nilai-nilai produktivitas pada masing-masing kedalaman pemancangan, sehingga menghasilkan variasi nilai produktivitas yang dapat membentuk grafik produktivitas. Grafik hasil model menggambarkan estimasi produktivitas aktual dalam satuan titik/jam untuk 2 ukuran penampang tiang pancang ( $\Delta 32 \times 32 \times 32$  cm,  $\square 25 \times 25$  cm) pada kedalaman pemancangan 6 – 12 m.

Produktivitas yang realistis harus mempertimbangkan: kondisi operasi alat, pemeliharaan mesin, dan efisiensi operator. Hal-hal tersebut dipertimbangkan dalam model dengan faktor koreksi (FK) yang diusulkan menggunakan Tabel 2.1 dan Tabel 2.4 pada sub bab 2.2. Berdasar pengamatan pada penelitian awal yang telah dilakukan di Universitas Islam Lamongan (01-09-2012), Politeknik Ilmu Pelayaran di Semarang (06-09-2012), Fakultas Hukum Universitas Negeri Semarang (17-09-2012), dan PT. EVERWIN di Gresik (05-11-2012), operator bekerja secara maksimal menggunakan kecakapannya yang dibuktikan dengan tidak adanya waktu tunda antar pergantian aktivitas pemancangan. Hal tersebut bila dihubungkan dengan uraian pada sub bab 2.11, maka operator dalam penelitian ini diasumsikan cakap dan berpengalaman. Selanjutnya berdasar Tabel 2.1 dan Tabel 2.4 pada sub bab 2.2, maka FK diusulkan menggunakan nilai 0,83. Estimasi

produktivitas aktual model simulasi yang diperoleh dari excel dapat dikembangkan untuk berbagai kondisi, misalnya:

- 1) Saat perencanaan dengan kondisi operasi alat, pemeliharaan mesin, dan efisiensi operator tertentu sehingga diperoleh  $FK_{rencana}$  maka estimasi produktivitas aktual rencana ( $AP_{ER}$ ) dihitung dengan Persamaan (3.8) yang merujuk pada Persamaan (2.5) pada sub bab 2.5, yaitu  $AP = P_{mak} \times FK$ .

$$AP_{ER} = AP_{EMN} \times \frac{FK_{rencana}}{0,83} \quad (3.8)$$

di mana:

$AP_{ER}$  = estimasi produktivitas aktual rencana (titik/jam)

$AP_{EMN}$  = estimasi produktivitas aktual model ANN (titik/jam)

$FK_{rencana}$  = faktor koreksi rencana

0,83 = faktor koreksi saat observasi

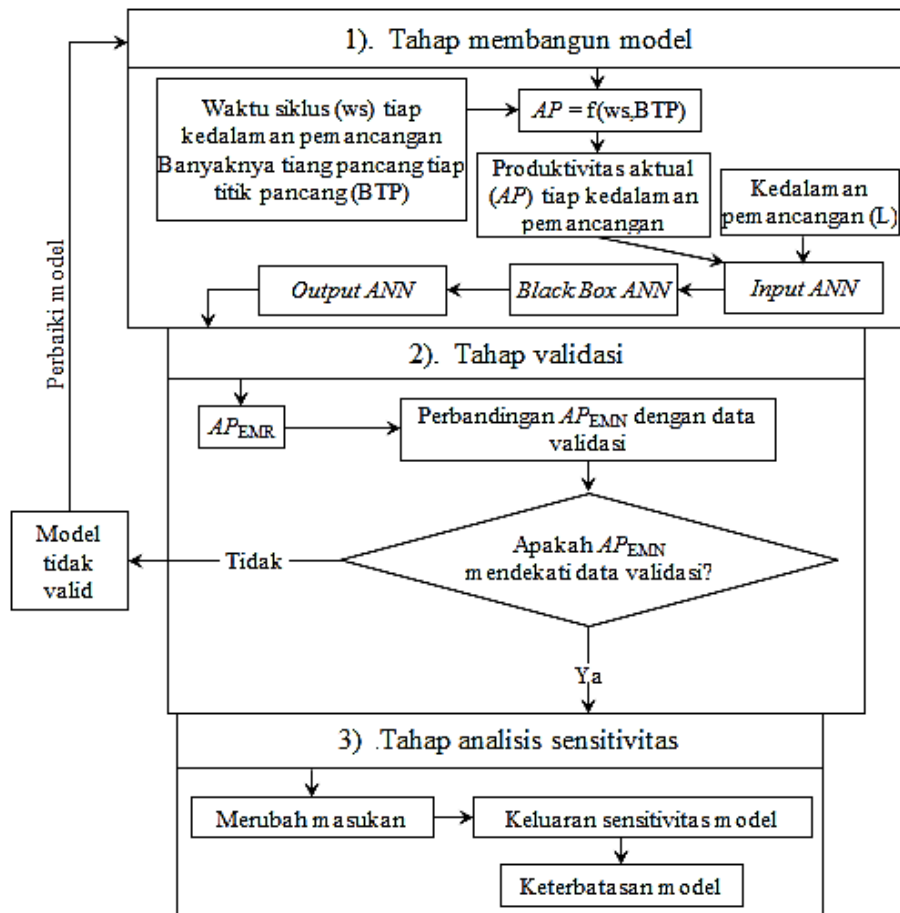
- 2) Bila dikehendaki satuan produktivitas dalam titik/hari atau m'/jam maka estimasi produktivitas aktual hasil model analitis dikalikan dengan jumlah jam kerja harian atau kedalaman pemancangan.
- 3) Pada tipe alat dan ukuran tiang pancang yang lebih besar dapat juga dibuat grafik produktivitasnya dengan melakukan pengukuran waktu tekan (waktu tidak tentu) dan mengambil waktu tertentu secara acak dari data observasi penelitian ini untuk menghitung data produktivitasnya. Selanjutnya dilakukan analisis ANN untuk mendapatkan *output* model.

Model ANN yang digunakan untuk proses pemancangan melalui 3 tahap utama, yaitu:

- 1) Tahap membangun model
- 2) Tahap validasi
- 3) Tahap analisis sensitivitas.

Tahap membangun model dilakukan dengan data waktu siklus (ws) tiap kedalaman pemancangan dan banyaknya tiang pancang tiap titik pancang (BTP), sehingga diperoleh produktivitas aktual ( $AP$ ).  $AP$  dan kedalaman pemancangan ( $L$ ) sebagai *input* ANN, melalui proses pembelajaran dalam *black box* sehingga diperoleh  $AP_{EMN}$  sebagai *output* ANN. Tahap validasi dilakukan dengan membandingkan  $AP_{EMN}$  dengan kumpulan data validasi untuk memeriksa validitas model. Jika hasil model tidak diperoleh kecocokan

yang signifikan dengan kumpulan data validasi maka dilakukan perbaikan model agar diperoleh hasil yang mendekati kumpulan data validasi. Tahap analisis sensitivitas dilakukan untuk memeriksa pengaruh perubahan  $AP_{EMN}$  bila diberikan perubahan masukan, sehingga diketahui keterbatasan model. Kerangka kerja model ANN ditunjukkan dalam Gambar 3-19.



Gambar 3-19. Kerangka Kerja Model ANN

Uraian di atas memberikan pemahaman bahwa sistem produktivitas *HSPD* merupakan sistem tertutup yang termasuk model sistem kejadian diskret dan model sistem statis serta bersifat kuantitatif, sehingga dapat diestimasi dengan model matematika dan komputer. Metode pendekatan model yang digunakan yaitu metode analitis, metode simulasi *CYCLONE*, metode regresi, dan metode ANN. Metode analitis menggunakan perhitungan matematika sederhana dan simulasi *CYCLONE* menggunakan *software* simulasi, keduanya berorientasi pada proses pemancangan dengan *input* waktu aktivitas pemancangan. Metode regresi menggunakan hubungan variabel independen dan dependen untuk menghasilkan persamaan linier dan ANN menggunakan jaringan yang menyerupai

syaraf otak manusia untuk mendapatkan solusi terbaik dari kumpulan data yang ada, keduanya menggunakan *software* statistik dan berorientasi pada data observasi dengan *input* kedalaman pemancangan dan produktivitas aktual. Metode-metode tersebut memiliki langkah-langkah pemodelan, kondisi, dan persyaratan tersendiri untuk menghasilkan grafik produktivitas. Masing-masing model dapat dikembangkan sesuai kondisi yang dihadapi untuk memberikan manfaat secara maksimal.

### 3.6 Pengujian Model

Permasalahan yang muncul setelah dilakukan pemodelan adalah bagaimana menentukan bahwa masing-masing model valid dan layak digunakan dan bagaimana menentukan alternatif model terbaik untuk menaksir produktivitas *HSPD*. Kriteria validitas dan sensitivitas digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Model-model yang valid dan layak dipilih yang terbaik berdasar nilai validitas dan deviasinya. Model dengan nilai validitas tertinggi dan deviasi terendah dipilih sebagai model terbaik. Model terbaik menghasilkan grafik produktivitas *HSPD* yang dinamai ProHSPD yang dapat digunakan untuk perencanaan waktu pemancangan.

#### 3.6.1 Uji Validitas Model

Uji validitas untuk mengetahui tingkat kecocokan model dengan kenyataan di lapangan sehingga menjadikan model yang valid. Model yang valid dapat diketahui dengan pengujian validitas untuk mengetahui kecocokan model dengan hasil perhitungan. Uji validitas model dilakukan dengan membandingkan estimasi produktivitas aktual hasil model dengan produktivitas aktual hasil perhitungan.

Nilai validitas dinyatakan dalam persen kecocokan, misalnya nilai validitas 90% keluaran model mempunyai 80% kecocokan dengan data. Nilai validitas dihitung menggunakan perbandingan antara estimasi produktivitas hasil model dengan produktivitas aktual hasil perhitungan yang dihitung dengan Persamaan (3.9) yang dimodifikasi dari Zayed *and* Halpin (2005b) pada Persamaan (2.26), yaitu Faktor validasi =  $\frac{EP}{AP}$ . Bila hasil perhitungan nilai validitas lebih dari 100% maka nilai tersebut dikurangkan dengan 200% supaya diperoleh nilai kurang dari 100%. Selanjutnya dihitung banyaknya nilai validitas yang  $\geq 90\%$  dibagi dengan jumlah data pembanding sehingga diperoleh persen kecocokan.

$$NV = \frac{AP_{EM}}{AP} \cdot 100\% \quad (3.9)$$

di mana:

$AP$  = produktivitas aktual

$AP_{EM}$  = estimasi produktivitas aktual hasil model

$NV$  = nilai validitas (%)

Beberapa penelitian tentang pemodelan produktivitas memberikan nilai validitas sebagai berikut: 79% keluaran model simulasi *MicroCYCLONE* mempunyai 75% kecocokan dengan data (Zayed and Halpin, 2004a), 90% keluaran model *ANN* mempunyai 75% kecocokan dengan data (Zayed and Halpin, 2005a), 79% keluaran model deterministik mempunyai 75% kecocokan dengan data (Zayed and Halpin, 2005b), 83% keluaran model regresi mempunyai 90% kecocokan dengan data (Zayed and Halpin, 2005c). Rata-rata nilai-nilai tersebut adalah 83% keluaran model mempunyai 79% kecocokan dengan data. Nilai-nilai tersebut dinyatakan mempunyai kecocokan yang bagus karena banyak faktor yang mempengaruhi produktivitas konstruksi. Model-model tersebut mempunyai deviasi terendah 18,66% pada model *ANN*. Nilai tersebut masih cukup tinggi karena faktor wilayah geografi yang tidak dipertimbangkan, variasi datanya tinggi, dan sedikit data pada kumpulan data (Zayed and Halpin, 2004b). Nilai deviasi atau penyimpangan sebaiknya sekecil mungkin.

Model dikatakan sempurna bila nilai validitasnya 100% keluaran model mempunyai kecocokan 100% dengan data, namun hal ini sulit dicapai karena pemodelan menggunakan sistem pendekatan. Oleh karena itu, nilai validitas sebaiknya mendekati 100%, hal ini juga tergantung dari banyaknya faktor yang mempengaruhi produktivitas (Zayed and Halpin, 2005b), makin banyak faktor yang dipertimbangkan maka nilai validitas makin kecil. Faktor yang dipertimbangkan dalam penelitian ini tidak cukup banyak dan merujuk pada nilai – nilai di atas maka nilai validitas model diambil antara 85% - 90% keluaran model mempunyai kecocokan dengan data antara 80% - 85% dengan deviasi standar  $\leq 10\%$ . Bila hal ini tercapai berarti model valid dan dapat digunakan untuk estimasi produktivitas.

### **3.6.2 Uji Sensitivitas Model**

Uji sensitivitas dimaksudkan untuk memeriksa konsistensi dan kestabilan hasil model. Uji ini dilakukan dengan merubah *input* model, yaitu waktu siklus. Apabila *output* model menunjukkan pola yang sama, berarti model dinyatakan konsisten dan stabil. Bila terdapat penyimpangan, maka besar penyimpangan diukur untuk menentukan tingkat kepercayaan

model. Tingkat sensitivitas model dinyatakan dengan persentase sensitivitas. Ilustrasi uji sensitivitas model ini diberikan dalam Gambar 3-20.

Hubungan antara sensitivitas dan tingkat kepercayaan seperti hubungan antara reliabilitas dan tingkat kepercayaan yang dinyatakan dengan Teori Bayes dalam Persamaan (2.27) pada sub bab 2.6, yaitu  $R_C = (1 - C)^{\frac{1}{n+1}}$ . Persamaan (2.27) tersebut dapat dimodifikasi menjadi Persamaan (3.10) untuk menghitung persentase sensitivitas model.

$$R = 100\% \{1 - C\}^{\frac{1}{n+1}} \quad (3.10)$$

di mana:

$C$  = tingkat kepercayaan =  $1 - c$

$c$  = penyimpangan =  $\Sigma \left\{ \frac{|(P2_i - P1_i) - (P2_1 - P1_1)|}{|(P2_n - P2_1)|} \right\}$

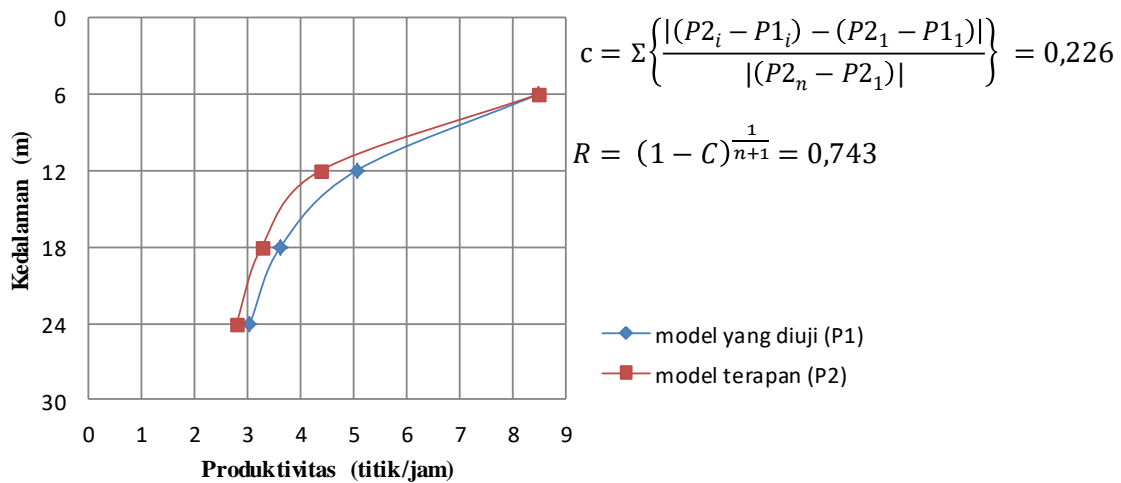
$i$  = 1,2,.....,  $n$

$n$  = jumlah data observasi (ukuran sampel)

$P1_i$  = keluaran ke  $i$  model yang diuji

$P2_i$  = keluaran ke  $i$  model terapan

$R$  = persentase sensitivitas model



Gambar 3-20. Ilustrasi Uji Sensitivitas

### 3.7 Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan pada proyek gedung di beberapa kota di Jawa Tengah yang diharapkan dapat memberikan data akurat untuk pemodelan. Pemenuhan kebutuhan data penelitian tergantung sepenuhnya pada keberadaan proyek pemancangan yang menggunakan alat *HSPD*. Informasi proyek pemancangan diperoleh dari PT. Multi Beton

Karya Mandiri, melalui mandor pelaksana yang sudah dikenal sebelumnya oleh peneliti. Perusahaan tersebut bergerak dalam bidang pemancangan menggunakan alat *HSPD* seri ZYC tipe 120B-B.

Pengumpulan dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan untuk mendapatkan data-data pemancangan dan data-data pendukung dari dokumentasi konsultan. Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini, yaitu: data sondir, gambar denah pondasi, ukuran tiang, kedalaman pemancangan, dan waktu aktivitas pemancangan. Data sondir dan gambar denah pondasi diperoleh dari konsultan perencana. Tiap lokasi pemancangan dimungkinkan memiliki beberapa data sondir namun yang digunakan hanya data yang berdekatan dengan titik pengamatan. Hal ini dapat diketahui dari gambar lokasi sondir dan mencocokkan data sondir dengan kedalaman pemancangan. Data ukuran tiang, kedalaman pemancangan, dan waktu aktivitas pemancangan dicatat langsung dari lapangan dalam format lembar studi waktu. Data waktu aktivitas pemancangan dikumpulkan sedemikian rupa, sehingga mencukupi kebutuhan data pemancangan.

Pengumpulan data dimulai pada 1 September 2012 sampai 19 Juni 2014 sebanyak 13 lokasi pemancangan (Tabel 3.1), namun hanya 5 lokasi yang digunakan untuk penelitian ini (Tabel 3.2), sedangkan lokasi lainnya terdapat kesamaan ukuran tiang pancang atau kedalaman pemancangannya yang digunakan sebagai data validasi. Data yang dibutuhkan sebanyak 4 kelompok data, sehingga 5 lokasi pada Tabel 5.2 dapat digunakan untuk pemodelan.

Tabel 3.1. Lokasi Penelitian

No.	Lokasi	Ukuran tiang	Kedalaman	Waktu observasi
1	Universitas Islam Lamongan, Jawa Tengah	$\Delta 32 \times 32 \times 32$	12 m	1 – 3 Sept 2012
2	PIP Semarang, Jawa Tengah	$\Delta 32 \times 32 \times 32$	12 m	5 – 12 Sept 2012
3	UNNES, Semarang, Jawa Tengah	$\Delta 32 \times 32 \times 32$	6 m	16 – 24 Sept 2012
4	PT. EVERWIN, Gresik, Jawa Timur	$\square 25 \times 25$	24 m	5 – 7 Nov 2012
5	PG Trangkil, Pati, Jawa Tengah	$\square 25 \times 25$	12 m	7 – 8 Des 2012
6	RSU Darmayu Ponorogo, Jawa Timur	$\square 30 \times 30$	5,40 m	16 – 18 Jan 2013
7	Nasmoco Siliwangi, Semarang, Jawa Tengah	$\Delta 32 \times 32 \times 32$	9,80 m	21 – 22 Feb 2013
8	UNIKAL, Pekalongan, Jawa Tengah	$\square 25 \times 25$	21 m	4 – 6 Juni 2013
9	DAS Sondol, Semarang, Jawa Tengah	$\square 25 \times 25$	12 m	28 Jun – 5 Juli 2013
10	Nasmoco Majapahit, Semarang, Jawa Tengah	$\Delta 32 \times 32 \times 32$	16 m	3 – 5 Sept 2013
		$\Delta 32 \times 32 \times 32$	12 m	6 – 7 Sept 2013
11	Tirtonadi, Solo, Jawa Tengah	$\square 25 \times 25$	6 m	8 – 10 April 2014
12	RSJ Semarang, Jawa Tengah	$\Delta 32 \times 32 \times 32$	12 m	25 – 26 Mei 2014
13	STEM Cepu, Jawa Tengah	$\square 25 \times 25$	12 m	19 – 20 Juni 2014

Tabel 3.2. Lokasi Kelompok Data Observasi

No.	Lokasi	Ukuran tiang	Kedalaman	Jumlah data
1	RSJ Semarang, Jawa Tengah	$\Delta 32 \times 32 \times 32$	12 m	30 titik
2	Nasmoco Majapahit, Semarang, Jawa Tengah	$\Delta 32 \times 32 \times 32$	12 m	40 titik
3	PG Trangkil, Pati, Jawa Tengah	$\square 25 \times 25$	12 m	45 titik
4	UNNES, Semarang, Jawa Tengah	$\Delta 32 \times 32 \times 32$	6 m	49 titik
5	Tirtonadi, Solo, Jawa Tengah	$\square 25 \times 25$	6 m	40 titik