

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Hidraulic Static Pile Driver (HSPD)*

Dalam proyek konstruksi, khususnya pekerjaan pondasi, terdapat 2 jenis pondasi yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Salah satu pondasi dalam yang biasa digunakan adalah pondasi tiang pancang. Pondasi tiang pancang berfungsi meneruskan beban konstruksi di atasnya ke tanah keras, sebagai penopang konstruksi. Salah satu masalah yang timbul adalah bagaimana memasukkan tiang pancang ke dalam tanah sebagai pondasi bangunan. Masalah tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan mesin pancang. Mesin pancang merupakan sumber daya penting untuk menyelesaikan proyek pemancangan. Penggunaan mesin pancang harus mempertimbangkan kondisi proyek secara seksama dan mengembangkan alternatif yang memberikan potensi keberhasilan (Peurifoy *et al.*, 2006). Berbagai mesin pancang dapat digunakan untuk pemancangan dengan mempertimbangkan mekanisme kerja alat dan keuntungannya, sehingga tujuan pekerjaan dapat tercapai.

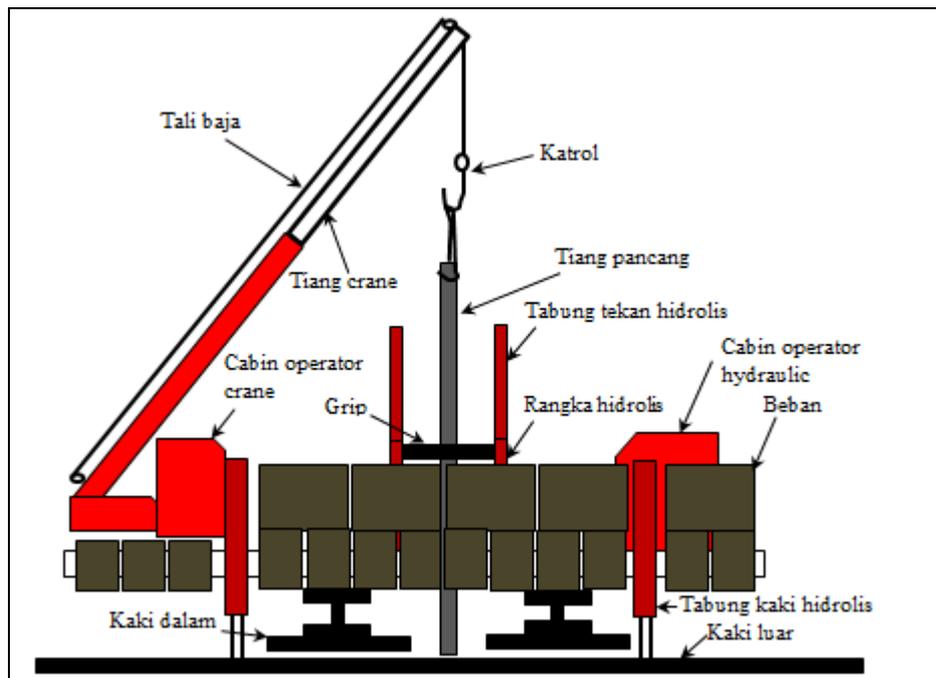
Sistem pemancangan yang relatif baru digunakan adalah *jacking system*, menggunakan alat *hydraulic jack-in pile* (Chow and Tan, 2010). *Hydraulic jack-in pile* adalah suatu alat pemancangan tiang pancang dengan menekan masuk tiang ke dalam tanah, menggunakan beban statis dongkrak hidrolis yang menggunakan imbalan berat (*counterweight*) (Chan, 2006; Jackson, 2008). Alat ini mempunyai maksimum gaya tekan 6000 kN (saat ini tersedia alat dengan gaya tekan 12.000 kN (Tianwei, 2013)), dapat memancang ukuran tiang 0,25 m – 0,6 m dengan beban desain lebih dari 2500 kN (Tan and Ling, 2001).

Salah satu alat *hydraulic jack-in pile* adalah *HSPD* yang mempunyai beberapa seri yaitu ZYB, ZYC, ZYJ, dan YJD (Alibaba, 2012). Seri, gambar, spesifikasi, tipe, dan kapasitas tekan alat tersebut ditunjukkan pada Gambar 2-1. Masing-masing seri mempunyai beberapa tipe yang tergantung kapasitasnya. Misalnya ZYC 120 berarti alat *HSPD* seri ZYC tipe 120 dengan tenaga tekan 120 ton. Parameter alat *HSPD* seri YJD dan seri ZYC ditunjukkan dalam Lampiran 1, sedangkan seri ZYB dan ZYJ hampir sama dengan seri ZYC.

Seri alat	Gambar alat	Spesifikasi	Tipe	Kapasitas tekan
ZYB		<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki 2 mesin penggerak, yaitu <i>crane</i> dan <i>HSPD</i>. - Menggunakan 2 operator. 	ZYB 120 – ZYB 1000	120 ton – 1000 ton
ZYC		<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki 2 mesin penggerak, yaitu <i>crane</i> dan <i>HSPD</i>. - Menggunakan 2 operator. 	ZYC 80 – ZYC 1200	80 ton – 1200 ton
ZYJ		<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki 2 mesin penggerak, yaitu <i>crane</i> dan <i>HSPD</i>. - Menggunakan 2 operator. 	ZYJ 120 – ZYJ 1000	120 ton – 1000 ton
YJD		<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki 1 mesin penggerak, yaitu <i>HSPD</i>. - Menggunakan 1 operator. 	YJD 120 – YJD 400	120 ton – 400 ton

Gambar 2-1. *Hydraulic Static Pile Driver* (Alibaba, 2012)

Seri ZYB, ZYC, dan ZYJ memiliki model alat dan prinsip kerja yang sama. Model ini memiliki 2 mesin penggerak yaitu mesin *crane* dan mesin *HSPD*, sehingga memerlukan 2 operator. Seri YJD hanya memiliki satu mesin penggerak dengan 1 operator, sehingga memerlukan alat bantu *crane* untuk menyiapkan tiang pancang. Penggunaan alat seri YJD kurang efisien, karena memerlukan alat bantu *crane* dalam melaksanakan aktivitasnya, dan memerlukan ruang yang lebih besar untuk penempatan kedua alat. Bagian-bagian utama alat seri ZYB, ZYC, dan ZYJ yaitu: konstruksi rangka alat dengan dua kabin operator dan imbalan berat yang bersifat portabel seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2-2 berdasar foto dari lapangan.



Gambar 2-2. Bagian-Bagian *HSPD*

Alat *HSPD* digerakkan dengan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator pembangkit yang terpisah dengan rangka alat. Seperti halnya robot, alat tersebut dapat bergerak maju, mundur, dan menyamping yang dikendalikan oleh operator *HSPD*. Jumlah pekerja pada alat *HSPD* sebanyak 5 orang yang terdiri dari 2 orang operator (*crane* dan *HSPD*), 1 orang tukang las, dan 2 orang pekerja yang bertugas mengikat tiang pancang untuk ditarik oleh *crane* dan memposisikan tiang pancang pada *grip* *HSPD*. Operator *crane* bertugas menyiapkan tiang pancang dari lokasi tumpukan tiang pancang hingga tiang pancang masuk ke *grip* *HSPD*, sedangkan operator *HSPD*

bertugas menekan tiang pancang hingga masuk ke dalam tanah. Jika ada penyambungan tiang pancang maka dilakukan oleh tukang las.

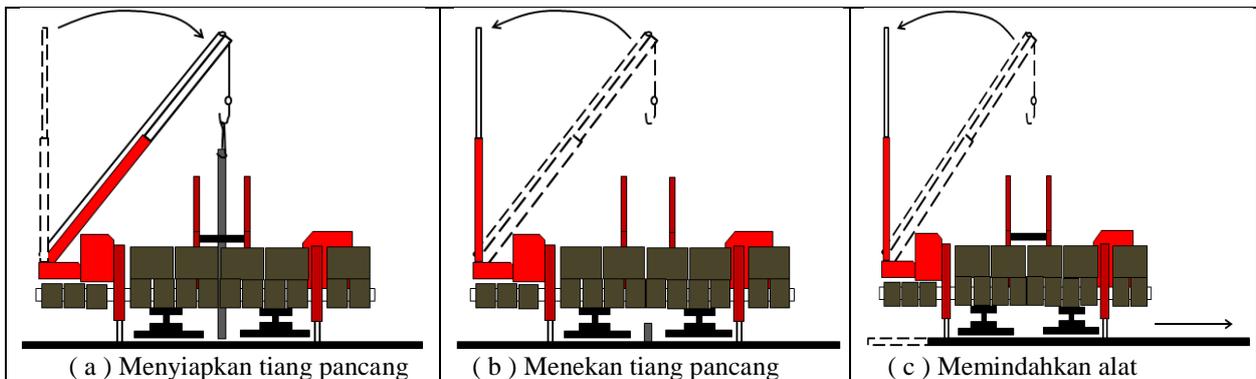
Mekanisme pemancangan menggunakan alat *HSPD* (Habib, 2012) ditunjukkan pada Gambar 2-3, yang digambar berdasarkan pengamatan lapangan. Mekanisme tersebut terdiri dari beberapa aktivitas, yaitu:

- 1) Menyiapkan tiang pancang (dilakukan oleh pekerja dan operator *crane*), terdiri dari:
 - (1) Mengikat tiang pancang.
 - (2) Mengangkat tiang pancang hingga tegak.
 - (3) Memutar lengan *crane* hingga tiang pancang berada di atas lubang *grip* (klem tiang pancang).
 - (4) Menurunkan tiang pancang hingga tiang pancang terjepit oleh *grip*.
- 2) Menekan tiang pancang ke-1 (dilakukan oleh operator *HSPD*) hingga tiang pancang masuk ke dalam tanah, sedangkan operator *crane* menyiapkan tiang pancang berikutnya hingga posisi tiang siap dilas.
- 3) Mengelas sambungan ke-1 (dilakukan oleh tukang las) hingga kedua tiang pancang terikat oleh las ikat.
- 4) Menekan tiang pancang ke-2 dilakukan dengan cara yang sama dengan poin 2).
- 5) Memindahkan alat (dilakukan oleh operator *HSPD*) menuju titik pancang berikutnya.

Produsen menawarkan alat *HSPD* dengan menampilkan keunggulan alat ini yaitu: tidak gaduh, tidak ada getaran, sedikit polusi, tidak meninggalkan sampah di lokasi, dan cocok pada kondisi: lapisan lempung, tanah lunak, dan pasir. Selain itu, tenaganya konstan dengan sedikit kehilangan tenaga dan konsumsi energi hemat 30% (Tianwei, 2013). Alat ini cocok untuk lokasi proyek sensitif, seperti pada daerah padat penduduk dan lokasi yang sudah banyak bangunan, hal ini merupakan masalah untuk metode pemancangan lainnya (BPP, 2009). Alat ini juga menunjukkan pengurangan getaran tanah 10 – 50 kali dibanding *dynamic pilling* serta kebisingan yang ditimbulkan jauh di bawah yang lainnya (White *et al.*, 2002).

Berdasar parameter alat pada Lampiran 1 (Alibaba, 2012; Tianwei, 2013), alat *HSPD* mampu memancarkan tiang pancang bujursangkar berukuran 20 – 60 cm dan tiang pancang bulat berdiameter 30 – 80 cm dengan panjang tiap tiang 12 – 15 m. *HSPD* mempunyai gaya tekan hingga 1.200 ton dengan kecepatan tekan 0,8 – 7,8

m/menit, serta mampu bergerak maju atau menyamping pada lapisan tanah permukaan yang cukup padat. Khususnya pada *HSPD* seri ZYC tipe 120B-B, mampu memancang tiang pancang bujursangkar berukuran 20 – 30 cm dan tiang pancang bulat berdiameter 30 cm dengan panjang 12 m, gaya tekan 120 ton dengan kecepatan tekan 0,9 – 3,0 m/menit. Alat ini sudah dilengkapi dengan *crane* sebagai alat angkat tiang pancang.



Gambar 2-3. Mekanisme Pemancangan Menggunakan Alat *HSPD*

Kelemahan *HSPD* ditunjukkan dengan berat alat yang cukup tinggi, sehingga memerlukan kondisi tanah permukaan yang cukup padat dengan topografi yang datar, agar posisi alat stabil dan mudah melakukan gerakan, serta sulit dioperasikan untuk pemancangan di air. Tiap seri alat dibatasi oleh gaya tekan tertentu, sehingga terbatas juga kemampuannya untuk menembus lapisan tanah atau *flens* yang keras. Mengingat kekuatan dan kelemahan alat *HSPD* itu, maka penggunaan alat harus mempertimbangkan faktor-faktor pemilihan alat. Faktor-faktor pertimbangan pemilihan alat pancang adalah: ukuran dan tipe tiang, jumlah tiang, karakter tanah, lokasi proyek, topografi lokasi, tipe *crane* yang ada, pemancangan di darat atau di air (Assakkaf, 2003; Peurifoy *et al.*, 2006), kedekatan dan keberadaan, ukuran alat, dampak kebisingan, pengaruh getaran, hambatan kerja, dan batasan jarak ruang gerak (U.S. Army Corps of Engineers, 2004).

2.2 Produktivitas

Produktivitas merupakan hal penting yang harus diperhatikan, khususnya pada proyek konstruksi yang tergantung waktu dan biaya. Hwang *and* Liu (2010) menegaskan bahwa produktivitas merupakan tolok ukur keberhasilan suatu pekerjaan. Proyek konstruksi dapat dikatakan berhasil, jika diselesaikan dengan biaya dan waktu yang

minimum, sehingga diperlukan prediksi produktivitas yang akurat untuk perencanaan dan kontrol operasi konstruksi.

2.2.1 Definisi

Definisi produktivitas yang dikemukakan para pakar berbeda-beda. Secara umum produktivitas didefinisikan sebagai hubungan antara *output* dan *input* yang dihasilkan dari suatu proses (Isnaniah, 2007; Tridian, 2009; dan O'Grady, 2009). Produktivitas juga diartikan sebagai tingkatan yang mengindikasikan efisiensi sistem produksi (Bernold and AbouRizk, 2010) dengan pemanfaatan sumber-sumber untuk memproduksi barang-barang. Dalam konstruksi, Neil and Knack (1984) mendefinisikan produktivitas sebagai unit *output* produksi dibagi personil tiap jam masukan. Produktivitas dalam industri konstruksi dapat dideskripsikan dalam terminologi faktor kinerja, angka produksi, angka satuan orang-jam, dan lainnya (Dozzi and AbouRizk, 1993). Dalam manajemen, produktivitas merupakan usaha untuk mengukur keefektifan manajemen keahlian, pekerja, material, peralatan, perkakas, dan ruang pekerjaan untuk menghasilkan sebuah penyelesaian bangunan, pabrik, struktur, atau fasilitas tetap lainnya dengan biaya terendah (Oglesby *et al.*, 1989).

Dari uraian di atas, pengertian produktivitas dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

- 1) Rumusan umum bahwa produktivitas adalah hubungan dari apa yang dihasilkan (*output*) terhadap keseluruhan peralatan produksi yang dipergunakan (*input*) atau tingkatan yang mengindikasikan efisiensi sistem produksi.
- 2) Dalam konstruksi bahwa produktivitas adalah unit *output* produksi dibagi personil atau peralatan tiap jam *input* atau produksi tiap alat atau personil yang digunakan.
- 3) Dalam manajemen bahwa produktivitas merupakan usaha mengukur keefektifan manajemen sumber daya untuk menyelesaikan pekerjaan dengan biaya rendah.

Hal ini menunjukkan bahwa produktivitas mempunyai pengertian yang berbeda-beda tergantung sudut pandang tinjauan atau terminologi kajiannya. Secara umum, produktivitas dapat digambarkan secara sederhana dengan perbandingan antara *output* dan *input* (Park, 2006; Wignjosoebroto, 2008). Pengertian produktivitas *HSPD* lebih mengacu pada terminologi konstruksi, yaitu sejumlah unit produk yang dihasilkan tiap jam, tiap hari, atau periode waktu lainnya. Pengertian produktivitas tersebut mempunyai muara yang sama dengan pengertian secara umum di atas, seperti yang ditunjukkan O'Grady (2009) dalam Persamaan (2.1).

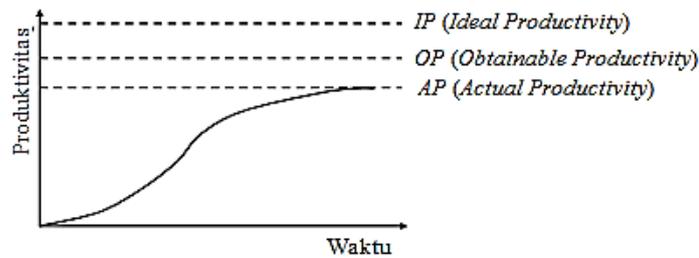
$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{output}}{\text{sumber daya yang digunakan}} \quad (2.1)$$

Sumber daya yang digunakan atau faktor *input* berupa semua atau beberapa sumber untuk memproduksi *output*. *Output* terdiri dari tenaga kerja, peralatan, material, modal, energi, waktu, dll., merupakan hasil nyata yang dihasilkan oleh suatu proses. Rasio antara *output* dan *input* ini dapat berbentuk *output* yang dihasilkan oleh aktivitas kerja dibagi dengan waktu kerja. *Output* dapat juga berupa pekerjaan terselesaikan dan *input* berupa jumlah jam kerja (Gibson, 2009). Proses aplikasi Persamaan (2.1) untuk menentukan produktivitas pemancangan adalah dengan menghitung banyaknya tiang pancang yang dipancangan (sebagai *output*) oleh HSPD (sebagai sumber daya yang digunakan) tiap satuan waktu.

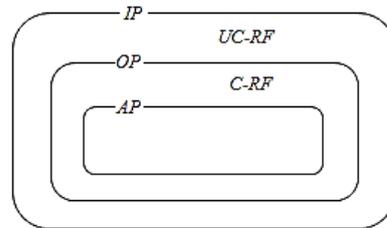
2.2.2 Tipe Produktivitas

Berdasar grafik transisi produktivitas yang ditunjukkan pada Gambar 2-4, produktivitas dapat dibedakan menjadi 3 tipe (Kim *et al.*, 2008), yaitu *Ideal Productivity (IP)*, *Actual Productivity (AP)*, dan *Obtainable Productivity (OP)*. *IP* merupakan produktivitas yang menganggap segala sesuatunya sempurna, sedangkan pada kenyataannya faktor-faktor produktivitas mempunyai kesempurnaan yang terbatas, sehingga *IP* tidak dapat dihitung dan tidak dapat dicapai di lapangan. *AP* merupakan produktivitas yang dicapai di lapangan dan menunjukkan nilai produktivitas nyata melalui pengamatan langsung. *OP* merupakan nilai produktivitas tertinggi yang dapat dicapai di lapangan dengan kinerja terbaik dari suatu kelompok pekerja dan peralatannya, disebut juga dengan produktivitas optimum.

Faktor-faktor yang menghambat produktivitas untuk mencapai *IP* disebut *Reduction Factor (RF)*. *RF* terdiri dari: *C-RF (Controllable-RF)* yaitu *RF* yang dapat dikontrol (misalnya: rencana lapangan, jadwal rencana kerja, dan kesetiaan pekerja) dan *UC-RF (Uncontrollable-RF)* yaitu *RF* yang tidak dapat dikontrol (misalnya: kondisi cuaca dan kondisi lapangan). Hubungan produktivitas dengan *RF* ditunjukkan pada Gambar 2-5, konsep tersebut ditunjukkan dengan Persamaan (2.2a), Persamaan (2.2b), dan Persamaan (2.3) (Kim *et al.*, 2008).



Gambar 2-4. Grafik Transisi Produktivitas (Kim *et al.*, 2008)



Gambar 2-5. Hubungan *RF* dan Produktivitas (Kim *et al.*, 2008)

$$AP = IP - \text{kehilangan produktivitas karena } RF \quad (2.2a)$$

$$AP = OP - \text{kehilangan produktivitas karena } C-RF \quad (2.2a)$$

$$OP = IP - \text{kehilangan produktivitas karena } UC-RF \quad (2.3)$$

di mana:

AP = Actual Productivity

IP = Ideal Productivity

OP = Obtainable Productivity

RF = Reduction Factor

UC-RF = Uncontrollable-*RF*

C-RF = Controllable-*RF*

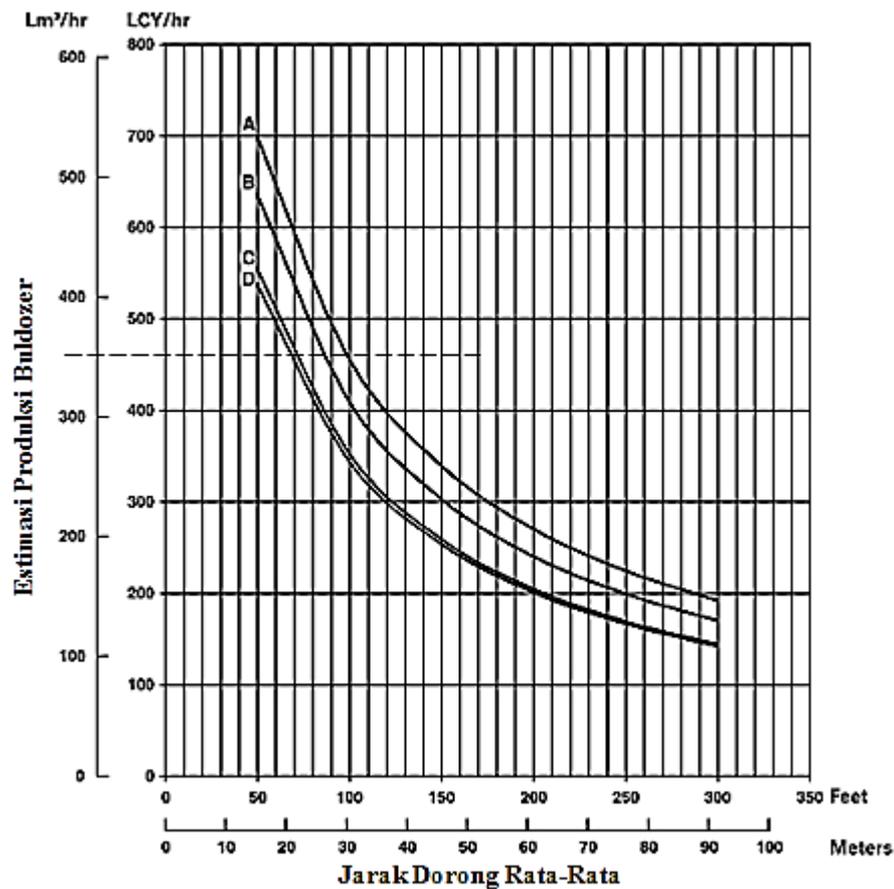
Gambar 2-4 dan 2-5 menunjukkan bahwa *OP* berada antara *IP* dan *AP*. *IP* tidak dapat dicapai langsung di lapangan pada level proyek, karena situasi ideal tidak mungkin dicapai di lapangan. Terdapat faktor yang tidak dapat dikontrol kejadiannya, sehingga menghambat tercapainya *IP* di lapangan. *AP* dapat diukur langsung di lapangan atau diprediksi berdasar data-data yang telah dikumpulkan, sedangkan *OP* tidak dapat diukur secara langsung, karena merupakan sebuah ukuran konsep produktivitas. *OP* mungkin dicapai apabila diketahui faktor-faktor penyebab tidak tercapainya nilai *IP* atau perlu upaya meningkatkan *AP* dengan meminimalkan faktor penghambat produktivitas yang dapat dikontrol (*C-RF*).

Caterpillar (2012) dan Komatsu (2006) menggunakan istilah produksi maksimum yang dihasilkan oleh tim operator-mesin yang cakap, yaitu: operator terlatih dengan baik, bekerja pada kondisi yang cocok, mesin lengkap, dan memanfaatkan sesuatu yang moderen. Produksi maksimum dikoreksi dengan beberapa kondisi untuk merencanakan AP. Grafik produktivitas maksimum *bulldozer* ditunjukkan pada Gambar 2-6. Grafik tersebut menunjukkan produktivitas beberapa tipe *bulldozer* (ditunjukkan dalam gambar dengan notasi: A, B, C, dan D) terhadap jarak dorong. Grafik tersebut dibuat berdasar studi lapangan pada berbagai kondisi kerja dan menunjukkan produksi maksimum yang belum dikoreksi. Batasan yang digunakan pada pembuatan grafik tersebut adalah: 100 % efisiensi, spesifikasi mesin, kepadatan tanah tertentu, jarak dorong 15 m.

Aplikasi grafik *bulldozer* ini adalah dengan menarik garis vertikal pada jarak dorong yang direncanakan hingga memotong grafik produksi tipe *bulldozer* yang digunakan, selanjutnya menarik garis horisontal pada perpotongan tersebut hingga diperoleh produksi 1 unit *bulldozer*. Misalnya direncanakan pekerjaan menggusur dengan rata-rata jarak dorong 30 m, maka produksi maksimum *bulldozer* tipe A sebesar $350 \text{ Lm}^3/\text{hari}$ ($350 \text{ m}^3/\text{hari}$ material lepas). Produksi rencana *bulldozer* tipe A dapat dihitung dari produksi maksimum dikalikan dengan faktor koreksi.

2.2.3 Efisiensi Kerja

Produktivitas peralatan dipengaruhi oleh berbagai faktor, maka diperlukan angka efisiensi kerja sebagai faktor koreksi (Partanto, 2000; Nurhakim, 2004). Efisiensi kerja tergantung pada banyak faktor, antara lain: topografi, keahlian operator, pemilihan standar pemeliharaan dan hal-hal lain yang berkaitan dengan operasi alat (Komatsu, 2006). Penentuan besarnya efisiensi kerja sangat sulit diukur, karena banyak faktor yang mempengaruhi, tetapi berdasar pengalaman-pengalaman dapat ditentukan efisiensi kerja yang mendekati kenyataan (Rochmanhadi, 1985). Efisiensi kerja alat berat secara umum berdasar pemeliharaan alat dan kondisi kerja alat ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Rochmanhadi, 1985).



Gambar 2-6. Grafik Produksi *Bulldozer* (Caterpillar, 2012)

Tabel 2.1. Efisiensi Kerja (Rochmanhadi, 1985)

Kondisi Operasi Alat	Pemeliharaan Mesin				
	Baik sekali	Baik	Sedang	Buruk	Buruk sekali
Baik sekali	0,83	0,81	0,76	0,70	0,63
Baik	0,78	0,75	0,71	0,65	0,60
Sedang	0,72	0,69	0,65	0,60	0,54
Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52	0,45
Buruk sekali	0,52	0,50	0,47	0,42	0,32

Alat *HSPD* mempunyai kesamaan prinsip kerja dengan *excavator* yaitu diam di tempat untuk beraktivitas. *Excavator* diam di tempat untuk menggali, mengangkat, dan membuang hasil galian dengan menggerakkan *bucket* pada *boom*, sedangkan *HSPD* diam di tempat untuk mencengkeram dan menekan atau menarik tiang pancang dengan menggerakkan *grip* pada *boom*. Oleh karena itu, diusulkan menggunakan efisiensi kerja *excavator* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 yang mempertimbangkan kondisi operasi (Komatsu, 2006) dan Tabel 2.3 yang mempertimbangkan waktu kerja per jam (Caterpillar, 2012). Keterampilan operator perlu juga dipertimbangkan sebagai

faktor efisiensi, mengacu pada Caterpillar (2012), maka efisiensi operator ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.1 berdasar pengalaman lapangan, sedangkan Tabel 2.2, Tabel 2.3, dan Tabel 2.4 berdasar kajian produsen alat berat. Keempat tabel itu merupakan faktor koreksi yang digunakan secara umum untuk alat berat, namun dapat pula dilakukan penelitian tersendiri pada tiap alat berat yang digunakan untuk mendapatkan nilai yang lebih akurat. Menurut Halpin (1990) dan Halpin *and* Riggs (1992) bahwa menit produktif tiap jam penggunaan peralatan akan bervariasi dengan kondisi kerja tertentu, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor: cuaca, tipe dan keberadaan peralatan, efektivitas manajemen, dan akses ke lokasi kerja. Faktor-faktor tersebut sulit diukur satu persatu, sehingga bila tanpa pengetahuan yang detail tentang kondisi kerja, maka dapat digunakan standar praktis dengan berasumsi pada kondisi rata-rata yaitu 50 menit tiap jam waktu produktif.

Tabel 2.2. Efisiensi kerja (Komatsu, 2006)

Kondisi Operasi	Efisiensi Kerja
Bagus	0,83
Rata-rata	0,75
Agak buruk	0,67
Buruk	0,58

Tabel 2.3. Estimasi Efisiensi Kerja (Caterpillar, 2012)

Waktu Kerja/Jam	Efisiensi Kerja
60 menit	1,00
55 menit	0,91
50 menit	0,83
45 menit	0,75
40 menit	0,67

Tabel 2.4. Efisiensi Operator (Caterpillar, 2012)

Keterampilan Operator	Efisiensi Operator
Baik sekali	1,00
Rata-rata	0,75
Buruk	0,60

Efisiensi kerja dan efisiensi operator tersebut berfungsi sebagai faktor koreksi (FK) produktivitas standar atau produktivitas maksimum. Perhitungan produktivitas alat merujuk pada rumus produksi alat yang digunakan oleh Partanto (2000), yaitu: $Produksi = \frac{q}{ws}$, di mana q menunjukkan produksi alat dalam satu siklus dengan satuan volume dan ws merupakan waktu siklus alat dengan satuan waktu. Bila q diganti

dengan produksi 1 alat pancang selama 1 siklus yaitu 1 titik pemancangan, maka produktivitas dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.4). Perhitungan AP dapat merujuk rumus produksi yang digunakan oleh Caterpillar (2012) atau Komatsu (2006) sebagai produsen alat berat yang ditunjukkan dengan Persamaan (2.5).

$$P = \frac{1}{ws} \quad (2.4)$$

$$AP = P_{\text{mak}} \times FK \quad (2.5)$$

di mana:

P = produktivitas (titik/jam)

AP = produktivitas aktual (*Actual Productivity*) (titik/jam)

FK = faktor koreksi; Tabel 2.1 atau Tabel 2.3, atau Tabel 2.2 dan Tabel 2.4

P_{mak} = produktivitas maksimum (titik/jam)

ws = waktu siklus aktivitas pemancangan pada suatu kedalaman (jam)

Satuan *output* yang dapat digunakan dalam hal ini adalah satuan panjang tiang pancang yang masuk ke dalam tanah (misalnya: meter panjang, m') atau satuan banyaknya pemancangan (misalnya: titik). Satuan *input* dapat menggunakan menit atau jam. Oleh karena itu, terdapat beberapa satuan produktivitas tiap alat *HSPD* yaitu: m'/menit, m'/jam, titik/menit, dan titik/jam. Satuan produktivitas *HSPD* dipilih titik/jam agar mempermudah penggunaan hasil penelitian dalam prakteknya. Kenyataan di lapangan muncul pertanyaan "Berapa titik dapat dipancang tiap hari?" Pertanyaan ini dapat dijawab dengan mudah bila produktivitas alat diketahui dalam satuan titik/jam dan waktu kerja tiap harinya konstan.

Uraian produktivitas di atas memberikan landasan bahwa pengertian produktivitas yang baku tidak tersedia, karena definisi produktivitas tergantung terminologi kajiannya, produktivitas *HSPD* dapat dimengerti sebagai sejumlah unit produk yang dihasilkan tiap jam atau tiap hari atau periode waktu lainnya oleh alat *HSPD*. Terdapat 3 tipe produktivitas yaitu: *Ideal Productivity (IP)*, *Actual Productivity (AP)*, dan *Obtainable Productivity (OP)* dengan hubungan $IP > OP > AP$. Pada level proyek di lapangan, IP tidak dapat dicapai langsung, AP dapat diukur langsung, sedangkan OP mungkin dapat dicapai melalui upaya peningkatan AP dengan meminimalkan faktor penghambat produktivitas yang dapat dikontrol ($C-RF$),

misalnya: pemeliharaan mesin, kondisi operasi, waktu kerja, dan keterampilan operator.

2.3 Time Study (Studi Waktu)

Salah satu cara pengukuran waktu siklus kerja dapat dilakukan menggunakan studi waktu jam henti (*stopwatch time study*) (Wignjosoebroto, 2008). *Stopwatch time study* atau *direct time study* merupakan observasi langsung suatu pekerjaan menggunakan *stopwatch* untuk merekam kebutuhan waktu penyelesaian pekerjaan (Groover, 2007). *Time study* digunakan untuk menentukan jumlah kebutuhan waktu pekerjaan yang berkaitan dengan manusia, mesin, atau kombinasi keduanya (Bon and Daim, 2010). Pengukuran dengan *time study* dapat merekam waktu yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan tertentu dengan metode tertentu. Pekerjaan dibagi dalam elemen-elemen kerja dan tiap elemen mempunyai batas awal dan akhir yang jelas, sehingga diperoleh catatan waktu tiap elemen yang teliti dan akurat. Elemen atau tahap pekerjaan dimulai dari titik awal hingga akhir serta diulangi secara reguler. Pengukuran menggunakan *stopwatch* dapat dilakukan dengan metode *continuous timing*, *repetitive timing* atau *snap-back method*, dan *accumulative timing* (Wignjosoebroto, 2008).

Continuous timing dilakukan dengan menekan tombol *stopwatch* saat awal elemen kerja dan terus dibiarkan berjalan selama periode studi. Pencatatan waktu dilakukan pada titik akhir tiap elemen kerja. Waktu sebenarnya dari masing-masing elemen diperoleh dari pengurangan pada saat pengukuran waktu telah selesai. *Repetitive timing* atau *snap-back method* dilakukan dengan menekan tombol *stopwatch* pada tiap awal elemen dan menghentikan di akhir tiap elemen, *stopwatch* dikembalikan ke posisi nol untuk memulai elemen berikutnya. Data waktu tiap elemen dapat diketahui secara langsung dari pencatatan. *Accumulative timing* dilakukan dengan beberapa *stopwatch* yang dirangkai untuk bekerja bergantian pada tiap elemen. Waktu tiap elemen dapat dicatat langsung dari masing-masing *stopwatch*.

Keuntungan *continuous timing* yaitu: catatan lengkap seluruh periode pengamatan, tidak ada waktu yang tertinggal, penundaan masing-masing elemen dicatat, dan mudah dijelaskan. Kekurangan *continuous timing* yaitu: dibutuhkan kerja ekstra untuk menghitung waktu elemen dan potensi membingungkan terjadi bila pekerjaan yang diselenggarakan keluar dari urutan (Pigage and Tucker, 1954). Saat ini tersedia *stopwatch* digital yang dapat melakukan metode *continuous timing* dan

repetitive timing sekaligus, sehingga dapat mengatasi kekurangan metode *continuous timing*. Contoh deskripsi elemen kerja ditunjukkan dalam Gambar 2-7a dan formulir pencatatan *stopwatch continuous timing* dalam Gambar 2-7b.

LEMBAR STUDI WAKTU			
Operasi: <u>Drill 3/16" pin hole</u>		Hal.: <u>1</u> dari <u>2</u>	
No. operasi: <u>10</u>		Dept.: <u>Machine shop</u>	
Operator: <u>R. W. Smith</u>		No. operator: <u>36</u>	
Parts: <u>Stay pin</u>		Part no.: <u>D-27</u>	
Mesin: <u>Cyclone</u>		No. mesin: <u>357</u>	
Distudi oleh: <u>D. R. Jones</u>		Disetujui oleh: _____	
		Catatan: 1. Penerangan bagus – kebersihan ruangan wajar 2. Tingkat kebisingan sedang 3. Kenyamanan tempat – operator dapat berdiri 4. Mesin dioperasikan pada 1200 rpm menggunakan kecepatan pengeboran tinggi	
No. elemen	Deskripsi operasi		Waktu ijin
	Tangan kiri	Tangan kanan	
1	Membuka kelem, melepaskan, menggenggam lempengan	Mengangkat bor untuk membersihkan alat	
2	Menyingkirkan lempengan yang diselesaikan, melepaskan dan menjangkau "Quick clamp on jig", dan menggenggam ujung kelem	Mengangkat bor untuk posisi istirahat, melepaskan	
3		Menjangkau lempengan berikutnya, menggenggam dan membawa ke "Quick clamp jig"	
4	Menjepit lempengan dalam "jig" dan memegang kelem	Menempatkan lempengan pada "jig", melepaskan	
5		Menjangkau tangkai bor, menggenggam dan mengebor pelan	
6	Memegang kelem	Mengebor "3/16" pin hole"	

Gambar 2-7a. Deskripsi Elemen (Pigage and Tucker, 1954)

Ketika siklus kerja dilaksanakan dengan prestasi 100%, maka waktu yang diperlukan merupakan waktu normal dari siklus. Namun kecakapan antar pekerja berlainan, maka perlu dilakukan penilaian terhadap hasil kerjanya untuk mendapatkan waktu normal dengan jalan menerapkan *performance rating (PR)*. Penerapan *PR* ini dimaksudkan untuk menormalkan waktu kerja yang tidak normal, karena kurang konsistennya kecepatan kerja operator selama bekerja. Penyesuaian ini dilakukan dengan mengalikan waktu pengamatan rata-rata (bisa waktu siklus atau waktu tiap elemen) dengan *PR* (Wignjosoebroto, 2008). Penentuan faktor *PR* memerlukan penelitian lebih mendalam, secara teoritis bila pengusaha optimis dapat dipakai faktor

PR 60% - 80% dan bila pesimis dapat dipakai nilai 110% - 120% (Reksohadiprojjo dan Gitosudarmo, 1986).

Mulai studi: _____		Akhir studi: _____				Halaman: <u>2</u> dari <u>2</u>							
Catatan		Akhir dari elemen-elemen											
		1		2		3		4		5		6	
		T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
Keterangan:													
T : waktu yang diperlukan tiap elemen													
R : bacaan <i>stopwatch</i> pada titik akhir tiap elemen													

Gambar 2-7b. Formulir Pencatatan (Pigage and Tucker, 1954)

Beberapa sistem untuk memberikan *rating* yang umum diaplikasikan dalam pengukuran kerja adalah (Wignjosoebroto, 2008): *Westinghouse System's Rating*, *Synthetic Rating*, dan *Performance Rating* atau *Speed Rating*. *Westinghouse System's Rating* mempertimbangkan kecakapan (*skill*), usaha (*effort*), kondisi kerja (*working condition*), dan konsistensi (*consistency*) dari operator dalam melakukan kerja dengan nilai-nilai yang diberikan dalam Tabel 2.5. PR dapat diperoleh dari menambahkan 1 dengan jumlah keempat faktor penilaian yang menunjukkan kinerja operator.

Tabel 2.5. *Westinghouse Performance Rating* (Wignjosoebroto, 2008)

KECAKAPAN		USAHA	
+ 0,15 A1	Super	+ 0,13 A1	Super
+ 0,13 A2		+ 0,12 A2	
+ 0,11 B1	Baik sekali	+ 0,10 B1	Baik sekali
+ 0,08 B2		+ 0,08 B2	
+ 0,06 C1	Baik	+ 0,05 C1	Baik
+ 0,03 C2		+ 0,02 C2	
0,00 D	Rata-rata	0,00 D	Rata-rata
- 0,05 E1	Sedang	- 0,04 E1	Sedang
- 0,10 E2		- 0,08 E2	
- 0,16 F1	Buruk	- 0,12 F1	Buruk
- 0,22 F2		- 0,17 F2	
KONDISI		KONSISTENSI	
+ 0,06 A	Ideal	+ 0,04 A	Ideal
+ 0,04 B	Baik sekali	+ 0,03 B	Baik sekali
+ 0,02 C	Baik	+ 0,01 C	Baik
0,00 D	Rata-rata	0,00 D	Rata-rata
- 0,03 E	Sedang	- 0,02 E	Sedang
- 0,07 F	Buruk	- 0,04 F	Buruk

Synthetic Rating mengevaluasi tempo kerja operator berdasar nilai waktu yang telah ditetapkan terlebih dahulu, dengan cara membandingkan waktu yang diukur dengan waktu kerja yang sudah diketahui data waktunya. Hasil perbandingannya merupakan *rating factor* operator untuk melaksanakan elemen kerja yang bersangkutan. *Performance Rating* atau *Speed Rating* ditetapkan berdasar kecepatan operator yang dinyatakan dalam prosentase (%) atau angka desimal. Penetapan nilainya berdasar pengalaman analis sendiri.

Waktu normal yang sudah diperoleh harus diinterupsi dengan waktu kelonggaran yang mungkin terjadi di luar kontrol, yaitu waktu kelonggaran untuk kebutuhan personal (*personal allowance*), waktu kelonggaran untuk melepas lelah (*fatigue allowance*), dan waktu kelonggaran karena keterlambatan (*delay allowance*) (Wignjosoebroto, 2008). *Personal allowance* (misalnya: istirahat melepas lelah, menerima instruksi, menerima telepon pribadi, dll.) biasanya diambil sebesar 2 – 5%. Pekerjaan yang membutuhkan banyak pikiran akan menyebabkan kelelahan mental, sehingga akan memerlukan *fatigue allowance* sebesar 1 – 3%, pekerjaan yang relatif ringan ataupun pekerjaan yang diaplikasikan dengan peralatan mesin, maka *fatigue allowance* dapat dihilangkan. *Delay allowance* (misalnya: perawatan mesin, menunggu material, membereskan peralatan di akhir pekerjaan, dll.) yang ringan perlu dipertimbangkan juga. Ketiga kelonggaran tersebut diaplikasikan secara bersamaan pada seluruh elemen kerja untuk mendapatkan waktu standar. Faktor kelonggaran (*allowance*) berdasarkan pengalaman/penelitian sebesar 10% dari waktu normal (Reksohadiprodjo dan Gitosudarmo, 1986). Waktu normal dapat dihitung dengan Persamaan (2.6) dan waktu standar dapat dihitung dengan Persamaan (2.7) (Groover, 2007)

$$T_n = T_{obs} (PR) \quad (2.6)$$

$$T_{std} = T_n (1 + A_{pfd}) \quad (2.7)$$

di mana:

A_{pfd} = faktor kelonggaran (*PFD allowance*)

PR = *performance rating*

T_n = waktu normal

T_{obs} = waktu observasi rata-rata

T_{std} = waktu standar

2.4 *Motion Study* (Studi Gerakan)

Sebelum menentukan waktu standar perlu lebih dahulu menstandarisasi: pelaksanaan elemen pekerjaan, dan metode untuk melaksanakan tugas (meliputi: gerakan tangan dan badan, peralatan, kondisi pekerjaan, dan susunan kerja), dan pekerja cakap yang diperlukan (Groover, 2007). Pekerja cakap dalam pekerjaan pemancangan ditentukan berdasar tugas yang diperlukan untuk melaksanakan elemen pekerjaan. Aktivitas peralatan yang dikendalikan manusia mempunyai metode kerja dan gerakan yang tetap, sehingga tidak memerlukan metode kerja baru untuk menyelesaikan pekerjaan. Elemen pekerjaan perlu dianalisis sedemikian rupa, sehingga diperoleh elemen yang paling sederhana, oleh karena itu, diperlukan studi pergerakan (*motion study*) untuk memisahkan elemen-elemen pekerjaan.

Motion study sebagai teknik memisahkan pekerjaan ke dalam tahap-tahap sederhana yang mudah dijelaskan, mudah dimengerti, dan mudah diikuti. Tiap-tiap tahap dianalisis untuk mendapatkan cara penyelesaian paling sederhana, paling mudah, dan paling aman (Pigage and Tucker, 1954). Mundel *et al.* (1994) mendefinisikan *motion study* sebagai teknik mendesain metode kerja yang sesuai untuk menyelesaikan aktivitas manusia dalam melakukan tugas. Penjelasan di atas memberikan pengertian bahwa melalui *motion study* dapat diperoleh metode kerja untuk menyelesaikan pekerjaan dengan memisahkan pekerjaan ke dalam tahap-tahap yang lebih sederhana. Studi pergerakan diperlukan untuk menganalisis tahap-tahap pekerjaan, sehingga diperoleh tahap-tahap paling sederhana. Pada aktivitas peralatan pemancangan yang telah memiliki metode kerja yang tetap, *motion study* didefinisikan sebagai upaya memisahkan pekerjaan pemancangan ke dalam tahap-tahap pekerjaan yang lebih sederhana untuk menyelesaikan pekerjaan lebih cepat dan memberikan batas masing-masing tahap.

Pigage and Tucker (1954) memberikan urutan studi dari proses-proses pekerjaan, yaitu menggunakan *process chart* (diagram proses), *flow chart* (diagram alir), *operation chart* (diagram operasi), dan *micromotion chart* (diagram gerak mikro). Namun tidak semua urutan dibutuhkan tergantung maksud studi. Maksud penggunaan studi pergerakan ini untuk menyelidiki pekerjaan pemancangan, memindahkan langkah-langkah yang tidak tepat, dan menstandarisasi prosedur. Realisasi maksud tersebut menggunakan diagram operasi karena diagram tersebut sudah mampu

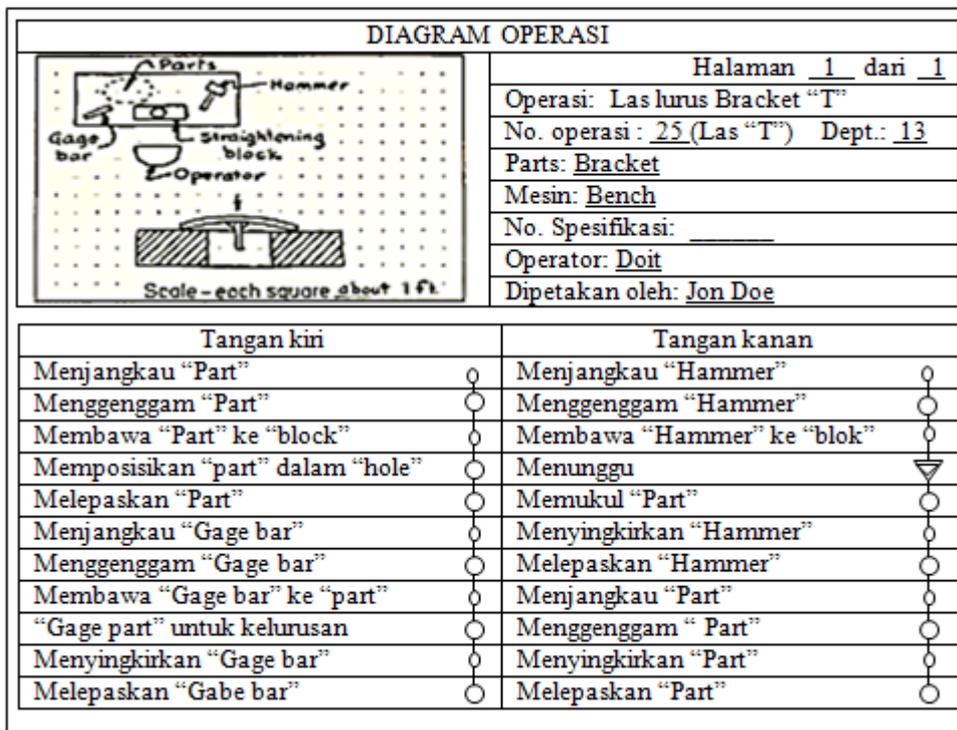
menunjukkan analisis detail apa yang dilakukan dalam pekerjaan. Diagram operasi terdiri dari tiga bagian yaitu: simbol, deskripsi operasi, dan deskripsi keluaran. Simbol-simbol yang digunakan dalam diagram tersebut diuraikan dalam Tabel 2.6. Contoh diagram operasi ditunjukkan dalam Gambar 2-8. Langkah-langkah operasi harus berurutan sehingga tidak ada operasi yang dapat dieliminasi ataupun dikombinasi.

Ciptani (2001) menuliskan bahwa penggunaan studi pergerakan dan waktu dapat mengukur dan mendeteksi setiap pergerakan aktivitas dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan aktivitas. Studi pergerakan dan waktu (*motion and time study*) dilaksanakan dengan mencatat jumlah waktu yang diperlukan dalam menyelesaikan suatu aktivitas pekerjaan dari awal sampai akhir suatu siklus (Wuryanti, 2010). Pengertian di atas memberikan pemahaman bahwa penyelenggaraan pekerjaan dapat dianalisis menggunakan studi pergerakan (*motion study*), sehingga dapat dideteksi aktivitas pergerakannya dari awal sampai akhir. Kebutuhan waktu untuk melaksanakan aktivitas pekerjaan dapat dicatat dan dianalisis melalui studi waktu (*time study*). Sehingga *motion and time study* menjadi satu kesatuan untuk pengukuran kerja. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *motion and time study* dapat memilih gerakan terbaik dan waktu yang diperlukan untuk tiap-tiap elemen, selanjutnya menganalisis data waktu untuk mendapatkan standarisasi pekerjaan.

Pada kasus pemancangan ini, para perencana atau manajer perlu mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan pemancangan. Selanjutnya menetapkan standar waktu, sehingga mereka dapat membuat perencanaan. Standar waktu pemancangan yang ditetapkan dengan baik akan menghasilkan standar waktu untuk melakukan pekerjaan pemancangan, apabila pekerjaan dilakukan dengan cara yang terbaik serta dikerjakan pada kondisi normal oleh pekerja yang cakap. Ini berarti mengandung konsep kenormalan dan kewajaran langkah kerja yang diamati, yaitu waktu kerja yang dibutuhkan pekerja berpengalaman pada keadaan normal (tidak dipaksakan). Konsep tersebut merupakan sesuatu yang abstrak, oleh karena itu, penentuan standar waktu melibatkan pertimbangan subyektif. Standar produksi atau standar waktu paling sering ditentukan dengan metode studi waktu (Moore and Hendrick, 1989).

Tabel 2.6. Simbol Studi Pergerakan (Pigage and Tucker, 1954)

Simbol	Deskripsi
○	Sebuah operasi, tahap kemajuan produk karena perubahan bentuk, dll. sepanjang penyelesaian.
○	Sebuah operasi perpindahan, sebuah transportasi dari satu lokasi ke lokasi lainnya, tetapi tidak menyertakan perubahan bentuk produk maupun kemajuan produk sepanjang penyelesaian.
▽	Sebuah gudang sementara, menunggu barang atau produk untuk peristiwa berikutnya terjadi.
▽	Sebuah gudang tetap, menunggu barang atau produk untuk peristiwa berikutnya terjadi. Ini berbeda dari gudang sementara yang dalam urutan dibutuhkan sebelum peristiwa berikutnya selesai.



Gambar 2-8. Diagram Operasi (Pigage and Tucker, 1954)

Keuntungan penggunaan metode studi pergerakan dan waktu (*motion and time study*) adalah:

- 1) Memberi gambaran elemen-elemen pekerjaan pemancangan menggunakan sistem *hydraulic jack-in pile*.
- 2) Memberikan data waktu masing-masing elemen dan mengoreksi bila ada waktu yang tidak normal.
- 3) Mengamati dan mencatat penyimpangan langkah kerja masing-masing elemen.
- 4) Memperoleh waktu aktual lebih tepat.

Kekurangan penggunaan metode studi pergerakan dan waktu adalah:

- 1) Mengukur waktu berdasar apa yang dilihat, misalnya adanya kendala dalam tanah saat pemancangan, sehingga terdapat waktu yang tidak normal yang sulit dijelaskan penyebabnya.
- 2) Memerlukan titik awal dan akhir tiap elemen yang jelas untuk konsistensi pengukuran.
- 3) Tidak dapat menentukan standar pekerjaan yang jarang dilakukan dan pekerjaan yang sulit didefinisikan kualitasnya.
- 4) Tidak berguna untuk menentukan standar pekerjaan yang sangat bervariasi.

2.5 Metode Estimasi Produktivitas

Satu dari beberapa tugas penting yang dihadapi perencana dalam industri konstruksi adalah mengestimasi kinerja operasional sebelum pekerjaan konstruksi dimulai. Produktivitas telah digunakan sebagai kriteria untuk menjelaskan kinerja operasional, namun sistem pengukuran produktivitas konstruksi yang standar belum disetujui oleh banyak peneliti (Park, 2006). Peneliti kesulitan menentukan metode standar untuk mengukur produktivitas konstruksi karena kekomplekan proyek dan keunikan karakteristik proyek konstruksi (Oglesby *et al.*, 1989).

Pengukuran produktivitas dimaksudkan untuk mengetahui tingkat produktivitas suatu pekerjaan. Bernol *and* AbouRizk (2010) menyatakan bahwa *Bureau of Labor Statistics (BLS)* memberikan 2 pengukuran produktivitas berdasarkan banyaknya faktor atau sumberdaya yaitu:

- 1) Produktivitas multi faktor.
- 2) Produktivitas singgel faktor.

Produktivitas multi faktor merupakan perbandingan *output* terhadap keseluruhan atau beberapa faktor *input*, yaitu mengukur keluaran tiap unit kombinasi masukan, misalnya unit masukan yang terdiri dari pekerja dan kapital, biasanya digunakan dalam studi ekonomi. Produktivitas singgel faktor merupakan perbandingan *output* terhadap salah satu faktor *input*, yaitu mengukur keluaran tiap jam dari 1 sumberdaya, misalnya produktivitas pekerja, produktivitas peralatan, dll., biasanya digunakan dalam konstruksi (Park, 2006).

Produktivitas *HSPD* merupakan produktivitas singgel faktor, faktor *output* berupa banyaknya titik pemancangan, sedangkan faktor *input* berupa lamanya waktu

penyelesaian pekerjaan. *Output* pekerjaan tiap satuan waktu tidak tetap atau bervariasi, karena adanya faktor penghambat di dalam tanah yang tidak diketahui secara pasti. Hal ini menyulitkan perhitungan produktivitas secara tepat, yang menghasilkan nilai standar. Oleh karena itu, diperlukan model sebagai metode estimasi produktivitas untuk memperkirakan produktivitas *HSPD*. Model adalah suatu bentuk yang dibuat untuk menirukan suatu gejala atau proses (Muhammadi *et al.*, 2001). Model juga sebagai representasi atau formalisasi suatu obyek, benda, atau ide-ide dari sistem dalam bahasa tertentu (Sridadi, 2009). Jadi model merupakan media untuk mencerminkan dan menyederhanakan suatu realita dalam bahasa tertentu. Bahasa model diberikan dalam bentuk fisik, matematika, dan komputer. Istilah lain untuk bentuk model adalah bentuk ikon, analog, dan simbol. Model ikon meniru sistem nyata secara fisik, model analog meniru sistem hanya dari perilakunya, model simbol memodelkan sistem berdasar logikanya. Model simbolik diklasifikasikan menjadi: model preskriptif atau deskriptif, model diskret atau kontinyu, model probabilistik atau deterministik, model statik atau dinamis, dan model *loop* terbuka atau tertutup.

Maksud model adalah untuk memungkinkan analisis memprediksi efek perubahan pada sistem (Maria, 1997). Sedangkan fungsi model adalah: membantu berfikir dalam mempelajari sistem, membantu berkomunikasi dalam menjelaskan suatu sistem pada orang lain, melatih keterampilan orang-orang yang berhubungan dengan sistem sebenarnya, alat prediksi perilaku sistem pada waktu yang akan datang dengan merubah besaran-besaran variabel dan parameter model, dan membantu mengatasi keterbatasan dalam eksperimen langsung yang tidak mungkin diadakan karena tidak praktis, sangat mahal, dan membahayakan. Oleh karena itu, kriteria model yang baik adalah: mudah dimengerti pemakaiannya, harus mempunyai tujuan yang jelas, dinyatakan secara jelas dan lengkap, mudah dikontrol dan dimanipulasi oleh pemakainya, mengandung pemecahan masalah yang penting dan jelas, mudah diubah dan mempunyai prosedur modifikasi, dan dapat dikembangkan dari sederhana menuju ke kompleks (Sridadi, 2009).

Model bersifat informatif, mudah dicerna, dan sederhana, oleh karena itu harus dibuat asumsi-asumsi, pendekatan, dan pengabaian. Pengaruh faktor yang tidak dominan diabaikan melalui proses penyederhanaan, sehingga pada dasarnya tidak ada model yang 100% benar. Meskipun demikian, model tetap diperlukan karena bahasa yang digunakan lebih tepat dibandingkan bahasa verbal, penggantian kata-kata dengan

simbol akan menghasilkan penjelasan yang lebih baik dari pada penjelasan dengan bahasa verbal. Namun, model juga mempunyai kelemahan yang diakibatkan oleh adanya galat, misalnya: galat pengukuran data, galat jumlah sampel, galat perhitungan, galat penyederhanaan, galat aplikasi hasil model, dan galat pengelompokan data, alternatif/asumsi, dan model (Sridadi, 2009).

Pemodelan adalah proses memproduksi model (Maria, 1997) atau tahapan membangun sebuah model suatu sistem dalam bahasa formal tertentu (Sridadi, 2009). Pemodelan produktivitas telah banyak dilakukan peneliti, misalnya pemodelan: simulasi produktivitas tiang bor (Zayed and Halpin, 2004a), ANN (*Artificial Neural Network*) produktivitas tiang bor (Zayed and Halpin, 2005a), deterministik produktivitas tiang bor (Zayed and Halpin, 2005b), dan regresi produktivitas tiang bor (Zayed and Halpin, 2005c). Metode umum untuk estimasi produktivitas ada 2 yaitu: deterministik dan simulasi (Han and Halpin, 2005). Han *et al.* (2011) menambahkan bahwa produktivitas kinerja konstruksi dapat diprediksi menggunakan metode perhitungan deterministik, teknik simulasi konstruksi, analisis statistik atau perangkat pembuat keputusan lainnya. Zayed and Halpin (2004b) telah menggunakan metode deterministik, simulasi *MicroCyclone*, regresi, dan *Artificial Neural Network (ANN)* untuk menaksir produktivitas *bore pile* dengan hasil yang memuaskan.

2.5.1 Deterministik

Metode deterministik atau analitis didefinisikan sebagai metode untuk menaksir produktivitas berdasarkan proses konstruksi (Zayed and Halpin, 2004b), dengan menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mendirikan konstruksi sesuai tahap-tahap konstruksi berdasar rata-rata statistik sampel data yang dikumpulkan (Zayed and Halpin, 2005b), sehingga produktivitas dapat ditaksir secara matematis. Metode deterministik merupakan metode perhitungan produktivitas secara sederhana berdasarkan referensi karakteristik peralatan yang dipublikasikan oleh kebanyakan pabrik (Han *et al.*, 2011). Metode deterministik menggunakan durasi waktu yang konstan dan mengabaikan variabilitas durasi (Halpin and Riggs, 1992).

Konsep dasar model deterministik atau analitis adalah menirukan sistem dalam bahasa matematika, guna mempelajari perilaku sistem dan menyelesaikan masalah proses konstruksi, dengan menganggap parameter bernilai tetap, sehingga tidak mengandung komponen yang bersifat probabilistik. *Output* dapat segera ditentukan

setelah sejumlah *input* dan hubungan tertentu dimasukkan. *Output* akan tetap sama jika *input*-nya sama walaupun diproses ulang (Sridadi, 2009). Model produktivitas dapat dibangun dengan metode deterministik menggunakan konsep dan prinsip sebagai berikut (Zayed and Halpin, 2005b):

- 1) Proses konstruksi terdiri dari beberapa tahap yang harus diperhatikan secara detail sesuai peralatan yang terlibat
- 2) Masing-masing peralatan memerlukan waktu untuk menyelesaikan tahap konstruksi
- 3) Waktu aktivitas peralatan utama dikelompokkan sesuai faktor-faktor yang mempengaruhinya
- 4) Hasil analisis waktu siklus digunakan untuk menghitung produktivitas secara matematis.

Asumsi dalam model deterministik (Sridadi, 2009) adalah sebagai berikut:

- 1) Kejadian-kejadian yang ada memiliki peluang yang tetap
- 2) Kejadian-kejadian pasti terjadi maupun tidak mungkin terjadi
- 3) Data berdistribusi normal

Penggunaan model deterministik untuk estimasi produktivitas mempunyai batasan-batasan yang tidak boleh dilampaui, agar hasilnya dapat digunakan sebagai dasar perencanaan secara akurat. Batasan-batasan penggunaan model deterministik adalah sebagai berikut (Sridadi, 2009):

- 1) Hasil yang diperoleh tidak tepat 100%, karena deterministik bekerja berdasarkan model proses yang dibangun dan kualitas *input*-nya.
- 2) Hasil model deterministik dipengaruhi oleh ketepatan menentukan nilai yang mewakili kelompok data waktu aktivitas pemancangan.

Model deterministik dapat digunakan untuk estimasi produktivitas dengan persyaratan sebagai berikut (Zayed and Halpin, 2005b):

- 1) Diketahui deskripsi proses konstruksi secara detail
- 2) Data deterministik
- 3) Mengukur masing-masing waktu aktivitas

Keunggulan atau keuntungan model deterministik yaitu (Gelman *et al.*, 2010):

- 1) Sederhana dan mudah dipahami, serta sebagai pendekatan awal perkiraan produktivitas berdasar data-data historis maupun referensi.
- 2) Prediksi yang tepat dari set kecil parameter.

Kelemahan atau kekurangan model deterministik, yaitu:

- 1) Tidak menggambarkan produktivitas aktual berdasar situasi nyata karena kesulitan mengumpulkan data aktual seperti menganggur dan kehilangan produktivitas (Zayed and Halpin, 2005b).
- 2) Sulit menentukan faktor koreksi yang tepat (Partanto, 2000).
- 3) Status konseptual model agak belum jelas mengingat tidak dapat dihindarinya ketidakcocokan antara model dan data (Gelman *et al.*, 2010)

Model deterministik dapat dibangun berdasarkan tahap-tahap konstruksi sebagai skema model. Contoh skema model deterministik ditunjukkan pada Gambar 2-9. Waktu siklus mesin bor terdiri dari 6 aktivitas, yaitu: menyesuaikan sumbu, mengebor, menaikkan bor, berputar ke area pembuangan, membuang tanah, dan berputar kembali ke lubang. Waktu siklus aktivitas lainnya meliputi: memasang rangkaian besi, memasang corong, menuangkan beton, dan memindahkan mesin. Waktu siklus masing-masing kelompok aktivitas dijumlahkan, sehingga diperoleh waktu siklus proses konstruksi, yang digunakan untuk menghitung produktivitas menggunakan persamaan matematis. Kedalaman tiang bor dibagi menjadi segmen kecil-kecil dengan kedalaman yang sama, agar perbedaan waktu antara bagian atas dan bawah segmen menjadi kecil, sehingga waktu siklus segmen dapat diwakili dengan nilai rata-rata pada pusat segmen. Pembagian segmen tiang bor ditunjukkan pada Gambar 2-10 (Zayed and Halpin, 2005b).

Waktu siklus pada Gambar 2-9 dibagi dalam 2 aktivitas mesin, yaitu aktivitas pengeboran dan aktivitas lainnya. Waktu pengeboran dihitung dengan Persamaan (2.8) dan waktu aktivitas lainnya dihitung dengan Persamaan (2.9). Total waktu konstruksi dihitung dengan Persamaan (2.10) dan produktivitas dihitung dengan Persamaan (2.11).

$$TDT = \left(\frac{d}{h_k}\right) \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (2.8)$$

$$OAT = C_r + (1 - \delta)F_r + \delta T_r + P_r + A + M \quad (2.9)$$

$$TD = TDT + OAT \quad (2.10)$$

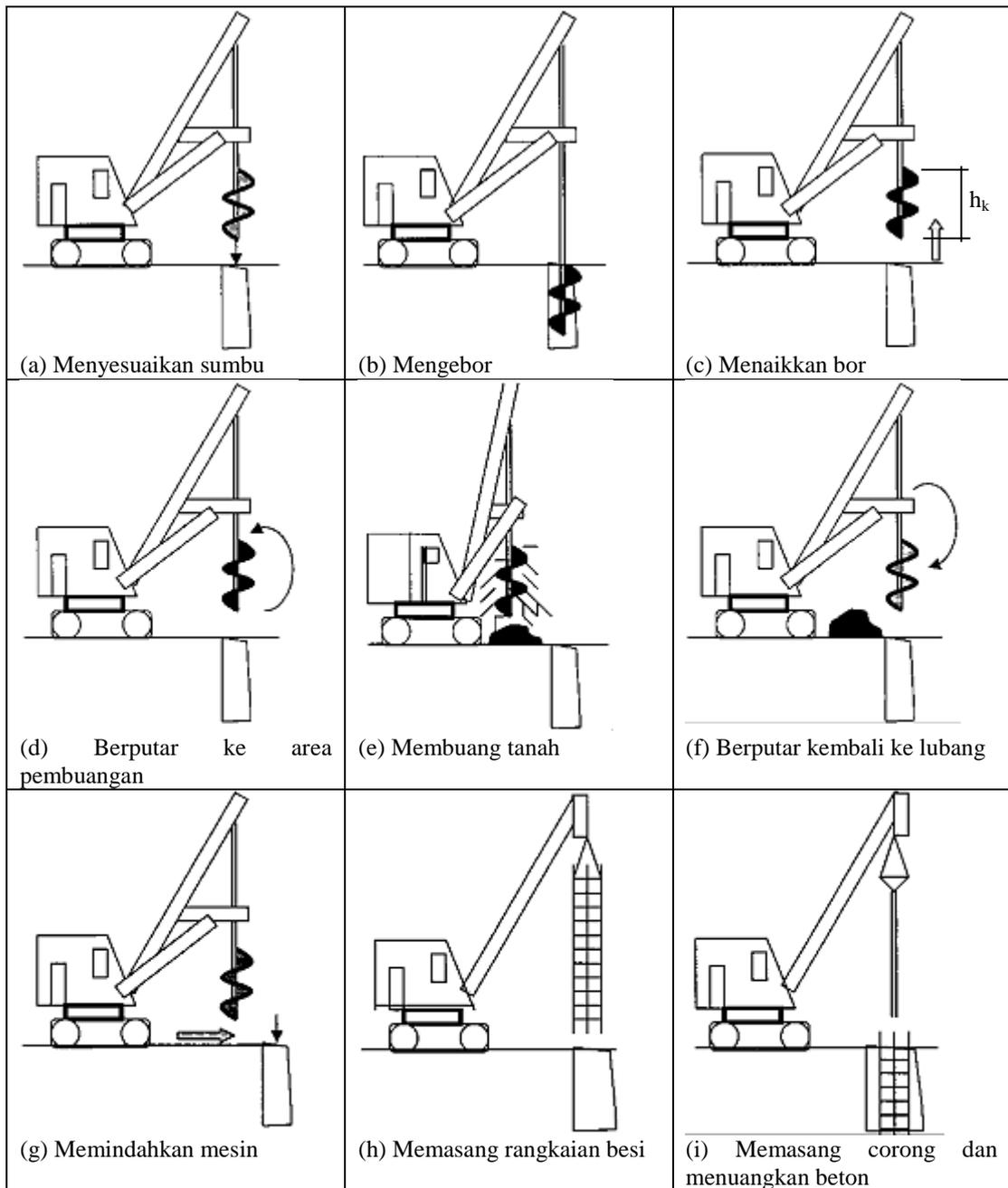
$$P = 60.WH.PI/TD \quad (2.11)$$

di mana:

TDT = total waktu pengeboran

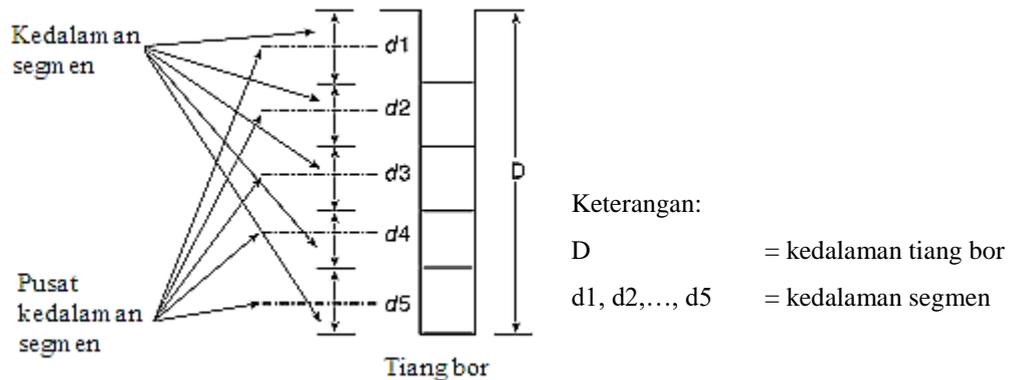
TD	= total durasi
d	= kedalaman segmen
h_k	= tinggi bor
m	= banyaknya segmen
n	= banyaknya aktivitas waktu siklus
i	= nomor segmen
j	= nomor aktivitas
x_{ij}	= aktivitas waktu siklus j estimasi waktu dalam i segmen
OAT	= waktu aktivitas lainnya
C_r	= waktu pemasangan <i>Rebar Cage</i>
F_r	= waktu pemasangan <i>Funnel</i>
T_r	= waktu pemasangan <i>Tremie</i>
P_r	= waktu pengecoran
A	= waktu menyesuaikan sumbu
M	= waktu memindahkan mesin
δ	= pengali untuk <i>Funnel</i> dan <i>Tremie</i> , 1 untuk <i>Tremie</i> dan 0 untuk <i>Funnel</i>
P	= produktivitas
WH	= waktu kerja per hari
PI	= indek produktivitas

Pendekatan deterministik telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk menaksir biaya, produktivitas, dan waktu siklus proses konstruksi dengan hasil yang cukup memuaskan. Misalnya: proses konstruksi *continuous flight auger (CFA) piles* (Zayed, 2005), proses konstruksi *bored pile* (Zayed and Halpin, 2005b), dan proses konstruksi *horizontal directional drilling (HDD)* (Zayed et al., 2007). Pada penelitian mereka, waktu siklus ditentukan dengan menjumlahkan waktu-waktu yang diperlukan untuk melakukan proses konstruksi. Selanjutnya ditetapkan waktu kerja harian untuk menentukan banyaknya hasil tiap harinya. Penggunaan waktu produktif 60 menit/jam tidak realistis, maka perhitungan produktivitas memerlukan faktor koreksi.



Gambar 2-9. Skema Model Deterministik (Zayed and Halpin, 2005b)

Contoh hasil pemodelan produktivitas *CFA* diberikan pada Gambar 2-11 (Zayed, 2005). Pada gambar tersebut terlihat bahwa produktivitas menurun seiring dengan kedalaman pengeboran. Diameter tiang juga memberikan pengaruh terhadap besarnya produktivitas, makin besar diameter tiang makin kecil produktivitasnya. Uji validitas model tersebut menunjukkan nilai validitas rata-rata 1,03 dengan deviasi standar 0,07. Nilai validitas mendekati 1 yang berarti model tersebut handal dan dapat digunakan untuk mengestimasi proyek *CFA*.



Gambar 2-10. Kedalaman Segmen Tiang Bor (Zayed and Halpin, 2005b)

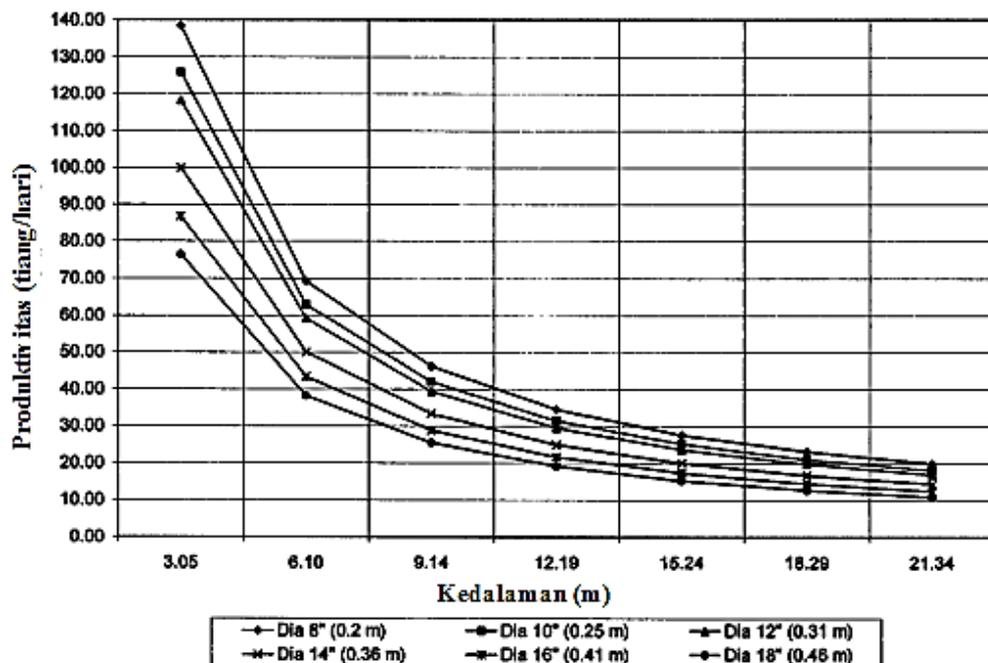
Proses pemancangan terdiri dari beberapa tahap konstruksi dan beberapa peralatan yang digunakan. Masing-masing peralatan memiliki waktu siklus. Oleh karenanya, produktivitas *HSPD* dapat dimodelkan dengan metode deterministik untuk menaksir produktivitas peralatan berdasar data durasi waktu rata-rata aktivitas atau elemen pemancangan yang konstan. Masing-masing aktivitas atau elemen pemancangan memerlukan waktu penyelesaian. Kecakapan, upaya, kondisi, dan konsistensi pekerja atau operator berlainan, maka perlu diterapkan *performance rating* pada waktu rata-rata pengamatan tiap elemen, sehingga diperoleh waktu normal. Waktu normal tiap elemen yang diperoleh tersebut dijumlahkan, sehingga diperoleh waktu siklus pemancangan normal. Mengacu pada Persamaan (2.4) pada sub-bab 2.2.3 yaitu $P = \frac{1}{ws}$, maka produktivitas dapat dihitung dengan Persamaan (2.12).

$$AP = \frac{1}{ws} \quad (2.12)$$

di mana:

AP = produktivitas aktual (titik/menit)

ws = waktu siklus (menit)



Gambar 2-11. Produktivitas CFA untuk Berbagai Kedalaman (Zayed, 2005)

2.5.2 Simulasi

Simulasi digunakan sebelum sistem yang ada diubah atau sistem baru dibangun, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan kegagalan, mengeliminasi kendala yang tak terduga, mencegah penggunaan sumber daya yang berlebihan atau kurang, dan mengoptimalkan kinerja sistem (Maria, 1997). Simulasi dapat dibedakan menjadi:

- 1) Berdasar pada waktu, yaitu simulasi statik dan dinamik
- 2) Berdasar pada random dan tidaknya variabel *input*, yaitu simulasi deterministik dan stokastik
- 3) Berdasar pada terjadinya peristiwa, yaitu simulasi diskret dan kontinyu

Simulasi merupakan pemodelan sistem dengan meniru proses atau perilaku dari sistem nyata (Abduh *et al.*, 2010). Simulasi didefinisikan sebagai perangkat untuk mengevaluasi kinerja sebuah sistem yang ada atau yang diusulkan (Maria, 1997), metode pemodelan operasi konstruksi yang efisien untuk memodelkan ketidakpastian proses konstruksi (Marzouk *and* Moselhi, 2003), metode untuk menaksir produktivitas berdasarkan proses konstruksi (Zayed *and* Halpin, 2004b). Simulasi konstruksi merupakan pengembangan dan eksperimen ilmu pengetahuan dengan komputer untuk memahami perilaku sistem konstruksi yang mendasarinya. Simulasi konstruksi menggunakan komputer dapat memahami perilaku sistem konstruksi melalui

pengembangan dan percobaan (AbouRizk, 2010). Program simulasi menghasilkan informasi spesifik berdasar pada kualitas masukan (Gransberg *et al.*, 2006).

Beberapa model simulasi telah dikembangkan untuk analisis proses konstruksi (Pang *et al.*, 2006) namun aplikasinya masih terbatas (Marzouk *and* Moselhi, 2003). Model simulasi tergantung pada program simulasi yang digunakan untuk menyelenggarakan simulasi (Zayed *and* Halpin, 2004a). Simulasi konstruksi terus berkembang seiring kemajuan teknologi komputer. Histori perkembangan program simulasi proses konstruksi ditunjukkan pada Tabel 2.7. Hampir semua program simulasi mengacu pada metodologi *Cyclone* (*CYCLic Operations NETwork*). Program-program baru yang dikenalkan bertujuan untuk memperbaiki keterbatasan *Cyclone* dan disesuaikan dengan kebutuhan praktisi konstruksi. Misalnya karena kekomplekan proses konstruksi dan peninjauan yang lebih detail pada tiap-tiap level konstruksi.

Tabel 2.7. Histori Perkembangan Program Simulasi Konstruksi

Tahun	Program Simulasi	Introduksi
1960	<i>GSP</i>	Tocher and Owen
1962	<i>CSL</i>	Buxton and Laksi
1971	<i>HOCUS</i>	Hills
1973	<i>Cyclone</i>	Halpin
1976	<i>Mainframe Cyclone</i>	Halpin
1978	<i>Insight</i>	Paulson
1986	<i>RESQUE</i>	Chang
1989	<i>UM-Cyclone</i>	Ioannou
1990	<i>MicroCyclone</i>	Halpin
1991	<i>COOPS</i>	Liu
1992	<i>CIPROS</i>	Odeh
1993	<i>MODSIM</i>	Oloufa
1993	<i>STEPS</i>	McCahill and Bernold
1994	<i>DISCO</i>	Huang and Halpin
1994	<i>AP3</i>	Sawhney and AbouRizk
1994	<i>STROBOSCOPE</i>	Martinez and Ioannou
1996	<i>HSM</i>	Sawhney and AbouRizk
1998	<i>Simphony</i>	AbouRizk and Hajjar
1999	<i>ABC</i>	Shi
2000	<i>COST</i>	Cheng <i>et al.</i>
2003	<i>HK-CONSIM</i>	Lu <i>et al.</i>
2003	<i>Vitascope</i>	Kamat and Martinez
2005	<i>WebCyclone</i>	Purdue University
2010	<i>X-Cyclone</i>	Abduh <i>et al.</i>

Beberapa pakar telah membangun sistem baru untuk peningkatan dan perluasan konsep *Cyclone*. Martinez (1996) menyebutkan sistem baru tersebut antara lain: *RESQUE* (*Resource Based Simulation System for Construction Process Planning*), *COOPS* (*Construction Object-Oriented Simulation System*), *CIPROS* (*Construction*

Integrated Planning and Simulation), dan *DISCO* (*Dynamic Interface Simulation for Construction Operations*). AbouRizk (2010) menyebutkan sistem baru lainnya, yaitu: *Insight*, *UM-Cyclone*, *MicroCyclone*, *Symphony*, dan *STROBOSCOPE* (*State and Resource-Based Simulation of Construction Processes*). Abduh *et al.* (2010) mengenalkan *X-Cyclone* di Indonesia.

RESQUE sebagai sistem baru yang tidak terbatas untuk menyampaikan informasi oleh jaringan namun juga menegaskan perbedaan sumberdaya dan meningkatkan kontrol simulasi. *COOPS* diimplementasikan menggunakan bahasa program berorientasi obyek dan menggunakan kalender untuk mendapatkan lebih dahulu aktivitas selama perubahan dan mempunyai kecakapan untuk membangkitkan dan mengkonsolidasikan sumberdaya pada mata rantai. *CIPROS* merupakan perangkat perencanaan level proses dan level proyek, dikembangkan berdasar pengetahuan teknik dan metoda konstruksi, dan berorientasi obyek secara hirarkikal untuk sumberdaya dan sifat-sifatnya, namun tidak menyediakan akses untuk lingkungan simulasi (Martinez, 1996). *CIPROS* merupakan sistem yang berorientasi obyek untuk mengembangkan jaringan simulasi kejadian diskrit dan memungkinkan pengguna menghubungkan strategi konstruksi dan spesifikasinya untuk perencanaan konstruksi (AbouRizk, 2010). *DISCO* merupakan simulasi operasi konstruksi dengan sistem dinamik, menggunakan metodologi *Cyclone* untuk membangun diagram model skematis (Huang and Halpin, 1993). *UM-Cyclone* merupakan sistem simulasi kejadian diskrit yang menyusun kumpulan program kerja bersama untuk menyediakan lingkungan pemodelan terpadu (Ioannou, 1990). *MicroCyclone* adalah mikrokomputer berdasar program simulasi yang didesain secara khusus untuk pemodelan dan analisis proses level lokasi dengan siklus secara alami (Lou and Najafi, 2007). *COST* (*Construction Operation Simulation Tool*) dibangun untuk memperbaharui *MicroCyclone*, menyediakan fungsi simulasi data *fuzzy* yang memudahkan pemodelan tidak tertentu (Cheng *et al.*, 2000). *Symphony* mampu memodelkan dengan tujuan umum sebaik perangkat simulasi tujuan khusus untuk industri sedangkan *STROBOSCOPE* sebagai bahasa pemodelan dan simulasi yang mampu memodelkan sistem dengan variasi yang luas dengan aneka kemampuan yang dapat diperluas (AbouRizk, 2010). *STROBOSCOPE* terprogram dan desain sistem simulasi dapat diperluas untuk pemodelan sistem konstruksi yang kompleks secara detail dan untuk mengembangkan perangkat simulasi dengan tujuan khusus (Martinez and Ioannou, 1999). *X-Cyclone* merupakan implementasi *MicroCyclone* pada

Microsoft Excel, berpotensi cocok untuk simulasi operasi konstruksi sederhana sampai kompleks, aplikasi simulasi sederhana, dan mudah digunakan (Abduh *et al.*, 2010).

Program *Cyclone* merupakan program simulasi konstruksi tertua yang dikembangkan sekitar tahun 1970-an, digunakan untuk simulasi proses konstruksi yang berulang (Han *et al.*, 2011). *Cyclone* sebagai bahasa pemodelan simulasi yang telah menjadi dasar *software* lain untuk simulasi industri konstruksi sistem diskret dengan variabel deterministik atau stokastik. Model simulasi ini dibangun untuk menguji interaksi unit aliran, menentukan menganggurnya sumberdaya produksi, lokasi sumber hambatan, dan estimasi sistem produksi yang didesain (Halpin *and* Riggs, 1992). Proses pemodelannya sederhana sehingga diterima praktisi konstruksi yang latar belakang simulasinya terbatas. Program *Cyclone* adalah perangkat handal dan sederhana untuk merencanakan proses konstruksi yang telah didemonstrasikan oleh banyak peneliti (Zayed *and* Halpin, 2000). Program *Cyclone* banyak digunakan dalam proses konstruksi misalnya: proses *concrete batch plant* (Zayed *and* Hapin, 2000); proses *bored pile* (Zayed *and* Halpin, 2004a); dampak konflik ruang produktivitas proyek (Pang *et al.*, 2006).

Cyclone merupakan bahasa pemodelan simulasi sistem diskret dengan variabel deterministik atau stokastik. Simulasi kejadian diskret telah digunakan untuk mengoptimalkan produktivitas konstruksi (Pang *et al.*, 2006), sedangkan proses produktivitas peralatan merupakan suatu sistem konstruksi, sehingga dapat diselesaikan dengan model simulasi kejadian diskret. Model simulasi dapat dibangun menggunakan perangkat komputer yang mewakili keseluruhan logika berbagai aktivitas pemancangan. Simulasi dilakukan melalui 4 tahap yaitu: tahap abstraksi (menetapkan) produk untuk dibangun, tahap pemodelan dan abstraksi proses, tahap eksperimen, dan tahap membuat keputusan (AbouRizk, 2010).

Konsep dasar simulasi *Cyclone* (*CYCLic Operations NEtwork*) adalah menyelesaikan masalah sistem kejadian diskrit dalam operasi konstruksi yang berulang, dengan teknologi komputer, melalui simulasi sistem yang menyerupai sistem aslinya terhadap kejadian-kejadian yang terjadi pada kurun waktu tertentu (Han *et al.*, 2011; AbouRizk, 2010; Abduh *et al.*, 2010). Simulasi sistem dilakukan dengan pemodelan sistem nyata operasi konstruksi dalam bentuk jaringan yang mempunyai keterhubungan antar masing-masing elemen, dimana perubahan sistem dipicu oleh suatu aktifitas yang memiliki waktu tertentu (Sridadi, 2009). Model produktivitas dapat

dibangun dengan metode simulasi *Cyclone* menggunakan konsep dan prinsip sebagai berikut (Halpin, 1990):

- 1) Sumberdaya yang digunakan dalam proses konstruksi ditetapkan. Simulasi *Cyclone* memerlukan sumberdaya sebagai *input* model. Oleh karena itu, sumberdaya utama maupun pembantu yang digunakan dalam proses pemancangan harus ditetapkan.
- 2) Tugas kerja dalam proses pemancangan diidentifikasi. Tiap sumberdaya memiliki tugas masing-masing untuk menyelesaikan tahap-tahap konstruksi. Oleh karena itu, tugas kerja masing-masing sumberdaya dipisahkan.
- 3) Logika proses masing-masing sumberdaya ditentukan. Tiap sumberdaya memiliki proses tersendiri dengan urutan pelaksanaan tertentu. Oleh karena itu, logika proses pemancangan harus ditentukan sesuai realisasi lapangan.
- 4) Model proses konstruksi dibangun menggunakan elemen-elemen *Cyclone*. Eksekusi model *Cyclone* memerlukan jaringan proses konstruksi yang tersusun secara benar. Oleh karena itu, model proses pemancangan harus didesain dan dibuat sehingga simulasi dapat dijalankan berdasarkan *input* yang diberikan.

Halpin *and* Riggs (1992) memberikan asumsi dalam model simulasi *Cyclone* adalah sebagai berikut:

- 1) Estimasi sistem di desain seperti kondisi lapangan
- 2) Interaksi unit aliran mengikuti sistem program yang digunakan
- 3) Distribusi data sesuai analisis statistik

Penggunaan model simulasi *Cyclone* untuk estimasi produktivitas mempunyai batasan-batasan yang tidak boleh dilampaui, agar hasilnya dapat digunakan sebagai dasar perencanaan secara akurat. Batasan-batasan penggunaan model simulasi *Cyclone* adalah sebagai berikut (Halpin, 1990; Halpin *and* Riggs, 1992):

- 1) Hasil yang diperoleh tidak tepat 100%, karena simulasi *Cyclone* bekerja berdasarkan model proses yang dibangun dan kualitas *input*-nya.
- 2) Hasil model simulasi *Cyclone* dipengaruhi oleh ketepatan menentukan nilai yang mewakili kelompok *output* bila menggunakan data stokastik.

Model simulasi *Cyclone* dapat digunakan untuk estimasi produktivitas dengan persyaratan sebagai berikut (Zayed *and* Halpin, 2004a):

- 1) Diketahui deskripsi proses konstruksi secara detail
- 2) Data deterministik atau stokastik

3) Mengukur masing-masing waktu aktivitas

Saat ini tersedia *Cyclone Template* dalam *Simphony* dengan sistem operasi *Windows* yang memudahkan pengoperasian *Cyclone*. Simulasi *Cyclone* dapat dijalankan dalam *software Simphony* untuk tujuan khusus, yaitu estimasi produktivitas (saran dari Prof. Halpin melalui *email* pada tanggal 29-11-2013). Simulasi *Cyclone Template* dalam *Simphony* dapat digunakan untuk menghitung sistem produksi, jumlah kebutuhan alat berat, dll. (AbouRizk, 2012). Simulasi *Cyclone* dapat digunakan untuk simulasi operasi konstruksi berdasar pemikiran rasional yang melibatkan interaksi tugas dengan durasinya dan jalur aliran unit sumberdaya (*resource*) yang melewati tugas kerja (*work tasks*) (Halpin, 1990). Model simulasi *Cyclone Template* dalam *Simphony* mendekati permasalahan pemodelan dengan elemen-elemen tertentu sebagai representasi aktivitas konstruksi. Elemen-elemen *Cyclone Template* dalam *Simphony* terdiri dari 8 elemen pemodelan yang ditunjukkan pada Gambar 2-12 (AbouRizk, 2012).

Program simulasi memerlukan simbol-simbol untuk membuat rancangan model simulasi, yang harus disusun sesuai ketentuan program simulasi, diberi notasi sesuai sumberdaya dan aktivitas konstruksi yang disimulasikan. Waktu produktivitas biasanya ditentukan 60 menit kerja tiap jam, meniadakan pengaruh faktor kualitatif, meskipun tidak sesuai dengan kondisi real. Oleh karena itu, hasil simulasi harus disesuaikan dengan kondisi real menggunakan indeks produktivitas, agar nilai produktivitas layak digunakan dalam praktek. Dengan demikian, produktivitas dapat dihitung dengan Persamaan (2.13) (Zayed and Halpin, 2004a).

$$Produktivitas = S.WH.PI \left(\frac{lubang}{hari} \right) \quad (2.13)$$

di mana:

S = produktivitas hasil simulasi

WH = jam kerja tiap hari

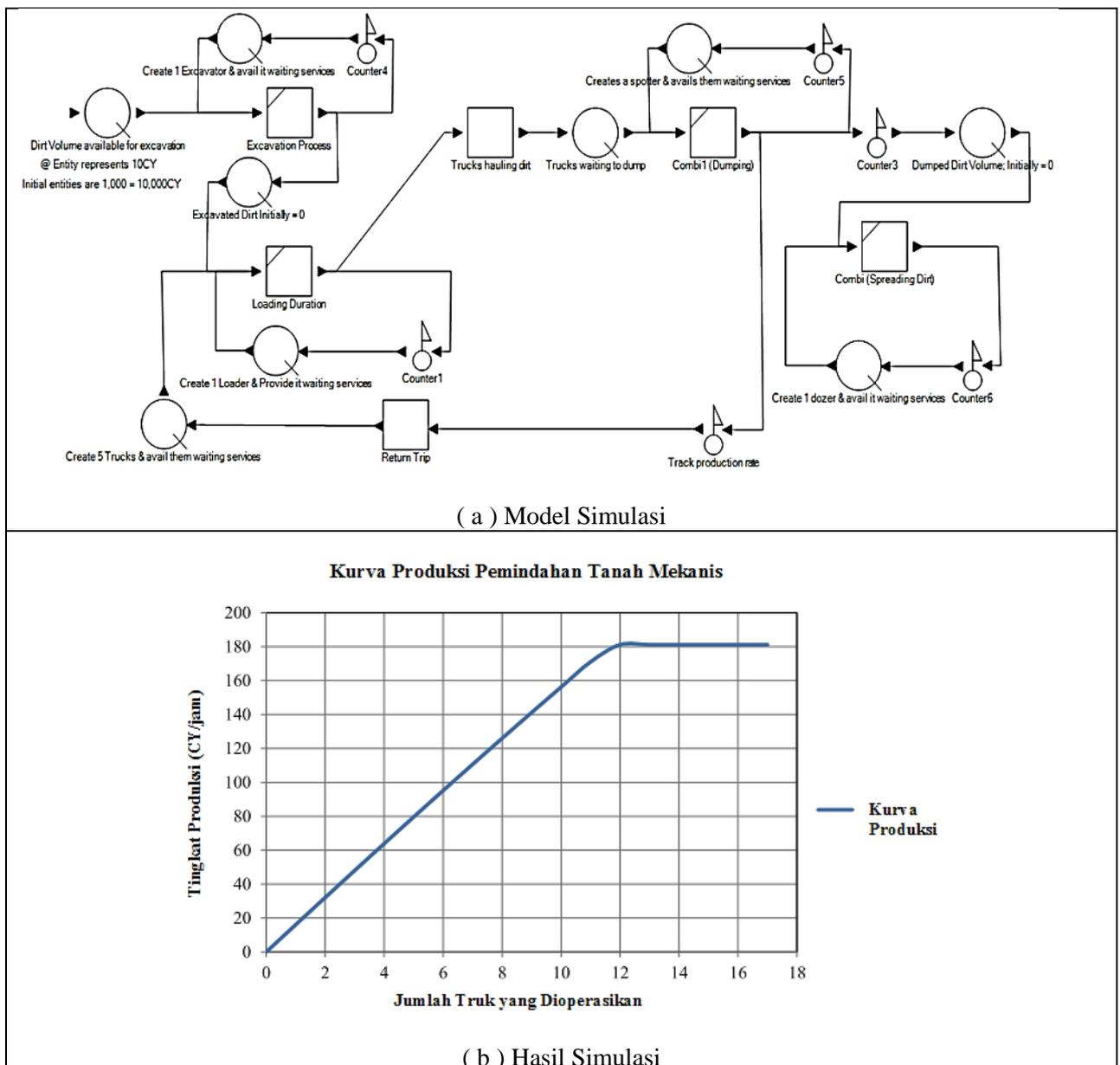
PI = indeks produktivitas

Nama	Simbol	Fungsi
<i>Queue Node (Queue)</i>		Titik <i>input</i> tidak harus terhubung dengan elemen lain. Titik <i>output</i> hanya dapat diikuti oleh <i>Combi</i> . Bertindak sebagai elemen yang menciptakan entitas, semua entitas diciptakan saat awal simulasi, dan menyediakan layanan antrian. Desain dan susunan properti tidak mempengaruhi jalannya simulasi.
<i>Combination Activity (Combi)</i>		Titik <i>input</i> hanya dapat dihubungkan dengan <i>Queue</i> , dapat <i>Queue</i> tunggal ataupun ganda. Titik <i>output</i> dapat dihubungkan dengan elemen apa saja. Memproses terus menerus aliran entitas jika dihubungkan dengan <i>Queue</i> tunggal, sedang bila dihubungkan dengan <i>Queue</i> ganda maka <i>Combi</i> tidak akan memulai proses sampai sedikitnya tersedia satu entitas dalam setiap <i>Queue</i> yang terhubung.
<i>Normal Activity (Normal)</i>		Titik <i>input</i> dapat dihubungkan dengan elemen apapun kecuali <i>Queue Node</i> . Titik <i>output</i> dapat dihubungkan dengan elemen apapun kecuali <i>Combi</i> . Entitas disalurkan ke elemen ini tanpa perlu untuk memenuhi hambatan (<i>constraint</i>) apapun. Entitas diadakan untuk durasi yang telah ditentukan oleh pengguna, setelah itu jumlah entitas yang sama yang memasuki elemen dialihkan. Elemen ini dapat memproses sebanyak entitas yang tersedia secara bersamaan.
<i>Counter</i>		Titik <i>input</i> dapat dihubungkan dengan elemen apapun kecuali <i>Queue Node</i> . Titik <i>output</i> dapat dihubungkan dengan elemen apapun kecuali <i>Combi</i> . Entitas disalurkan ke elemen ini tanpa perlu untuk memenuhi hambatan (<i>constraint</i>) apapun. Entitas mengalir melalui elemen tanpa penundaan dan memicu diperbaharainya beberapa perhitungan, yaitu: jumlah, waktu, waktu-antar-kedatangan, dan sifat-sifat produktivitas. Tiap model dapat memiliki beberapa <i>counter</i> yang diperlukan. <i>Counter</i> berguna untuk menentukan berakhirnya simulasi dan untuk pemantauan yang terjadi dalam simulasi selama eksekusi.
<i>Function (Consolidate and Generate)</i>		Titik <i>input</i> dapat dihubungkan dengan elemen apapun kecuali <i>Queue Node</i> . Titik <i>output</i> dapat dihubungkan dengan elemen apapun kecuali <i>Combi</i> . Elemen ini dapat menghubungkan fungsi antara kesatuan <i>generation</i> atau <i>consolidation</i> tergantung pilihan pengguna. Fungsi <i>generation</i> akan membangkitkan dan melepaskan sejumlah entitas yang ditetapkan oleh pengguna untuk setiap kesatuan yang disalurkan kedalamnya tanpa penundaan. Fungsi <i>consolidation</i> akan mengkonsolidasikan entitas yang disalurkan kedalamnya dan hanya melepaskan satu kesatuan dengan penundaan sampai penggunaan menetapkan sejumlah entitas yang disalurkan kedalamnya.
<i>Probabilistic branch</i>		Sebagai cabang probabilitas dengan memasukkan nilai probabilitas sehingga entitas akan dialihkan melalui cabang sesuai probabilitas yang ditentukan dikalikan dengan 100% waktu.
<i>Composite element</i>		Berfungsi sebagai wadah (<i>container</i>) dibagian mana dari model ditempatkan. Ini memungkinkan pendekatan hirarkis pemodelan sehingga mudah membaca model yang besar.
<i>Arrows</i>		Merupakan penghubung antar elemen.

Gambar 2-12. Deskripsi Elemen *Cyclone Template* dalam *Simphony* (AbouRizk, 2012)

Aplikasi simulasi *Cyclone Template* dalam *software Simphony* memerlukan bentuk rancangan model, sehingga dapat dijalankan untuk menghasilkan *output* yang diharapkan. Contoh aplikasi pada operasi pemindahan tanah mekanis diberikan pada Gambar 2-13 (AbouRizk, 2012). Gambar 2-13(a) menunjukkan bentuk rancangan model operasi pemindahan tanah mekanis. Rancangan model disusun berdasarkan

urutan aktivitas operasi dengan menggunakan elemen-elemen *Cyclone*. Elemen-elemen tersebut dihubungkan mengikuti aturan hubungan elemen, sehingga menunjukkan aliran unit sumber daya. Rancangan model diberi *input* durasi waktu pada masing-masing elemen dan program dijalankan, sehingga diperoleh nilai-nilai produksi pemindahan tanah mekanis. Nilai-nilai tersebut diplotkan sesuai jumlah truk yang digunakan sehingga diperoleh hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 2-13(b).



Gambar 2-13. Aplikasi *Cyclone Template* dalam *Software Symphony* (AbouRizk, 2012)

Keunggulan atau keuntungan model simulasi *Cyclone* yaitu:

- 1) Sistem sederhana dan mampu memodelkan jaringan siklis (AbouRizk, 2010)

- 2) Memodelkan dan simulasi proses konstruksi yang berulang (Han *et al.*, 2011)
- 3) Menyediakan simbol sederhana dan jelas yang mudah digunakan (Cheng *et al.*, 2000)
- 4) Banyak digunakan dan mudah untuk belajar karena sistemnya sederhana, efektif untuk simulasi konstruksi yang relatif sederhana (Martinez *and* Ioannou, 1999)
- 5) Program sederhana dan tangguh, mudah dipahami bagi pengguna pemula, dan pengguna dapat bereksperimen dengan desain operasi konstruksi yang cocok (AbouRizk, 2012)

Kelemahan atau kekurangan model simulasi *Cyclone* (Martinez, 1996), yaitu:

- 1) Tidak mampu mengenali perbedaan antara sumberdaya serupa (misalnya sifat-sifat sumberdaya)
- 2) Tidak mampu mengenali keadaan proses simulasi
- 3) Tidak mampu membuat penggunaan dinamik dari sifat-sifat sumberdaya dan keadaan simulasi untuk menetapkan perilaku model

2.5.3 Analisis Statistik

Statistik berkaitan dengan transformasi data mentah ke dalam pengetahuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan dalam analisis. Ketika menghadapi data mentah harus memperhatikan: data apa yang harus dikumpulkan, berapa banyak data yang harus dikumpulkan, kesimpulan apa yang dapat digambarkan dari data itu, dan seberapa jauh kesimpulan dapat dipercaya. Hal-hal tersebut dapat diselesaikan dengan metode regresi, pengujian hipotesis, penafsiran parameter, interval kepercayaan, dll. (Martinez *and* Martinez, 2002). Metode-metode tersebut dapat di aplikasikan menggunakan *software SPSS (Statistical Package for the Social Science)*, *MATLAB (Matric Laboratory)*, *STATISTICA*, *SAS (Statistical Analysis System)*, dan *Minitab* (Pripp, 2003; Mustafid, 2004). Regresi sederhana dapat diselesaikan dengan excel.

Sebelum dilakukan analisis statistik harus dilakukan terlebih dahulu kegiatan:

- 1) Pengumpulan data.
- 2) Pengolahan data.
- 3) Penyajian dan menginformasikan data.
- 4) Menyimpulkan data.
- 5) Menarik kesimpulan tentang karakteristik populasi.

Kegiatan 1) sampai 3) dikenal dengan statistik deskriptif, kegiatan 4) dan 5) dikenal sebagai statistik inferensial (Reksoatmodjo, 2009). Parameter analisis deskriptif yaitu tendensi sentral (*mean, median, modus*), penyebaran data (standar deviasi, varians, *range*, koefisien variasi), penyajian data (tabel, gambar). Analisis inferensia terdiri dari statistik parametrik dan statistik nonparametrik. Analisis parametrik menggunakan data berskala rasio/interval dan berdistribusi normal, sedangkan analisis nonparametrik menggunakan data berskala rasio/interval dan nominal/ordinal tetapi tidak berdistribusi normal.

Uji normalitas dilakukan pada data waktu pemancangan dan data produktivitas aktual untuk memeriksa distribusi data menggunakan program *SPSS*. Dalam Ghazali (2006) dan Uyanto (2009) disebutkan bahwa uji normalitas dapat dilakukan dengan *Shapiro-Wilk* dan *Kolmogorov-Smirnov*, *Skewness* dan *Kurtosis*, dan grafik. Uji normalitas dengan grafik kadang-kadang dapat menyesatkan karena distribusinya kelihatan normal namun secara statistik sebenarnya tidak normal. Data berdistribusi normal secara statistik bila nilai *Significance* lebih besar $\alpha = 0,05$ (uji *Shapiro-Wilk* dan *Kolmogorov-Smirnov*), nilai kritis *Skewness* dan *Kurtosis* kurang dari 2,58 untuk $\alpha = 0,01$. Nilai kritis *Skewness* dan *Kurtosis* dapat dihitung dengan Persamaan (2.14a) dan (2.14b). Bila data tidak berdistribusi normal maka data diberi perlakuan yaitu mengeluarkan data pengganggu (*outlier*) atau melakukan transformasi data, selanjutnya diuji normalitas lagi.

$$Z_{\text{skew}} = \frac{\text{Skewness}-0}{\sqrt{\frac{6}{N}}} \quad (2.14a)$$

$$Z_{\text{kurt}} = \frac{\text{Kurtosis}-0}{\sqrt{\frac{24}{N}}} \quad (2.14b)$$

di mana:

N = jumlah kasus

Z_{kurt} = nilai kritis Kurtosis

Z_{skew} = nilai kritis Skewness

Dasar pemilihan teknik statistik adalah: jenis dan banyaknya data, skala pengukuran data, distribusi data, permasalahan dan tujuan penelitian. Analisis data statistik dapat berupa analisis kuantitatif dan analisis kualitatif. Analisis kuantitatif pada data berskala rasio/interval berupa analisis deskriptif dan analisis inferensial parametrik. Analisis statistik inferensial parametrik pada set data yang terdiri dari 1

variabel terikat (dependen) dan 1 atau lebih variabel bebas (independen) dengan skala pengukuran metrik (interval/rasio), hubungan antar variabelnya dapat diuji dengan metode statistik regresi (Ghozali, 2006).

Analisis regresi adalah studi mengenai ketergantungan variabel dependen dengan 1 atau lebih variabel independen (Ghozali, 2006). Model regresi merupakan suatu persamaan yang menyatakan hubungan antara variabel bebas atau independen (x) yang ditetapkan terhadap prediksi variabel dependen atau terikat (y) (Mustafid, 2004). Analisis regresi dilakukan dengan prosedur statistik untuk memprediksi tendensi tertentu berdasar data observasi (Han *et al.*, 2011). Regresi berorientasi pada data yang dikumpulkan tanpa mempertimbangan proses di belakang data itu (Zayed and Halpin, 2005c). Hasil analisis regresi berupa koefisien masing-masing variabel independen yang digunakan untuk memprediksi nilai variabel dependen. Model regresi dibedakan menjadi 3 model yaitu:

- 1) Model regresi linier sederhana.
- 2) Model regresi nonlinier.
- 3) Model regresi linier berganda.

Model regresi linier sederhana dinyatakan dengan persamaan garis lurus seperti dalam Persamaan (2.15).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (2.15)$$

Nilai β_0 dan β_1 diestimasi menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*) berdasar Persamaan (2.16).

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i \quad (2.16)$$

Nilai pangkat kuadrat terkecil dicari dengan Persamaan (2.17).

$$e_i^2 = (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.17)$$

di mana:

- | | |
|-----------------|--------------------------------|
| i | = 1, 2, ... , n |
| y | = variabel dependen |
| \hat{y} | = variabel dependen estimasi |
| x | = variabel independen |
| $\beta_0 = b_0$ | = <i>intercept</i> (konstanta) |
| $\beta_1 = b_1$ | = <i>slope</i> |

$$\varepsilon = e \quad = \text{error random}$$

Bila hubungan variabel x dan variabel y nonlinier maka penyelesaian model dengan transformasi dari model regresi nonlinier menjadi model regresi linier. Selanjutnya penyelesaian model menggunakan cara yang sama dengan model regresi linier. Beberapa fungsi transformasi yang biasa digunakan adalah (Mustafid, 2004):

- 1) *Transforming the power curve* dinyatakan dalam Persamaan (2.18a) dan ditransformasi dengan Persamaan (2.18b).

$$y = ax^b \quad (2.18a)$$

$$\log y = \log(ax^b) = \log(a) + b \log(x) \quad (2.18b)$$

- 2) *Exponential growth* dinyatakan dalam Persamaan (2.19a) dan ditransformasi dengan Persamaan (2.19b).

$$y = ae^{bx} \quad (2.19a)$$

$$\ln y = \ln(ae^{bx}) = \ln(a) + b \ln(e^{bx}) = \ln(a) + bx \quad (2.19b)$$

- 3) *Exponential decay* dinyatakan dalam Persamaan (2.20a) dan ditransformasi dengan Persamaan (2.20b).

$$y = ae^{-bx} \quad (2.20a)$$

$$\ln y = \ln(ae^{-bx}) = \ln(a) + b \ln(e^{-bx}) = \ln(a) - bx \quad (2.20b)$$

- 4) *Time-rate relationships* dinyatakan dalam Persamaan (2.21a) dan ditransformasi dengan Persamaan (2.21b) dan Persamaan (2.21c).

$$y = \frac{1}{(a+bx)} \quad (2.21a)$$

$$z = \frac{1}{y} \quad (2.21b)$$

$$z = a + bx \quad (2.21c)$$

Model regresi linier berganda merupakan suatu persamaan yang berhubungan dengan satu nilai prediksi variabel y didasarkan pada lebih dari satu nilai variabel bebas yang diketahui (Mustafid, 2004). Model regresi linier berganda dinyatakan dalam Persamaan (2.22).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad (2.22)$$

Nilai $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ diestimasi menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*) berdasar Persamaan (2.23) dengan variabel independen x_j , $j = 1, 2, \dots, k$.

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + \dots + b_kx_{ki} \quad (2.23)$$

Cottrell (2011) berpendapat bahwa konsep dasar model regresi linier adalah hubungan antara variabel dependen (y) dengan variabel independen (x) yang pada dasarnya linier. Prinsip regresi adalah memasukkan variabel independen ke dalam model persamaan regresi untuk memprediksi variabel dependen. Proses memasukkan ini dapat dilakukan satu persatu maupun secara simultan. Pilihan proses itu akan mempengaruhi hasil estimasi karena yang masuk lebih dahulu akan mendapat ruang yang lebih banyak. Oleh karena itu, pemilihan proses berdasarkan pertimbangan teori, relevansi dengan sampel, dan kepentingan penelitian.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam analisis regresi adalah sebagai berikut (Mustafid, 2004):

- 1) *Error* ε berdistribusi normal dengan rata-rata 0 dan varian σ^2 dan bersifat independen.
- 2) Variabel x bersifat tertentu.
- 3) Variabel y mempunyai sifat homoskedastisitas (variasi nilai-nilai y disekitar nilai rata-rata adalah konstan) sehingga y berdistribusi normal.
- 4) Hubungan variabel x dan y adalah linier.

Pangkat kuadrat terkecil pada model regresi linier menggunakan asumsi sebagai berikut (Ghozali, 2006):

- 1) Nilai x diasumsikan non-stokastik, yaitu dianggap bernilai tetap dalam sampel yang berulang.
- 2) Nilai rata-rata kesalahan adalah nol, $E(\varepsilon_i/x_i) = 0$.
- 3) Homoskedastisitas, yaitu varian kesalahan sama untuk setiap periode, $\text{Var}(\varepsilon_i/x_i) = \sigma^2$.
- 4) Tidak ada autokorelasi antar kesalahan (antara ε_i dan ε_j tidak ada korelasi), $\text{Cov}((\varepsilon_i, \varepsilon_j/x_i, x_j) = 0$.
- 5) Antara ε_i dan x_i saling bebas, $\text{Cov}(\varepsilon_i/x_i) = 0$.
- 6) Jumlah observasi harus lebih besar dari jumlah variabel independen.
- 7) Adanya variabilitas nilai x (nilai x harus berbeda).

- 8) Model regresi telah dispesifikasi secara benar (tidak ada kesalahan spesifikasi dalam model yang digunakan dalam analisis empirik).
- 9) Tidak ada multikolinieritas yang sempurna antar variabel independen.

Persyaratan analisis regresi adalah: koefisien determinasi (*Adjusted R²*) mendekati 1, nilai statistik F dan t, tidak terjadi multikolinieritas, tidak terjadi autokorelasi, tidak terjadi heteroskedastisitas, residual atau variabel pengganggu berdistribusi normal, dan memeriksa bentuk fungsi dengan uji linieritas (Uyanto, 2009; Ghozali, 2006). Koefisien determinasi menunjukkan kemampuan model dalam menerangkan variasi variabel dependen dan bernilai antara 0 dan 1. Nilai *R²* yang mendekati 1 berarti variabel independen mampu menjelaskan variabel dependen secara akurat. *R²* mempunyai kelemahan yaitu apabila dilakukan penambahan variabel independen maka akan meningkatkan nilai *R²*. Oleh karena itu lebih baik menggunakan nilai *Adjusted R²* untuk mengevaluasi model karena nilai *Adjusted R²* dapat naik atau turun apabila ada penambahan variabel independen dalam model. Jika nilai *Adjusted R²* bernilai negatif maka dianggap nol.

Uji statistik F menunjukkan pengaruh semua variabel independen secara bersama-sama terhadap variabel dependen. Kriteria bahwa semua variabel independen secara serentak dan signifikan mempengaruhi variabel dependen adalah jika nilai $F > 4$ dengan probabilitas signifikan $< 5\%$. Uji statistik t menunjukkan pengaruh satu variabel independen secara individual dalam menerangkan variasi variabel dependen. Kriterianya adalah jika nilai $t > 2$ dengan probabilitas signifikan $< 5\%$.

Multikolinieritas tidak terjadi bila nilai *Tolerance* $\geq 0,10$ atau nilai *variance inflation factor (VIF)* ≤ 10 . *VIF* antara 2 dan 4 dianggap *low collinearity* (Ghozali, 2006). Uji autokorelasi untuk menguji korelasi antara residual pada periode t dengan periode t-1, bila nilai *DW (Durbin-Watson)* antara 1 dan 3 maka model regresi tidak terdapat autokorelasi. Heteroskedastisitas tidak terjadi bila pada grafik *scatterplot* tidak membentuk pola tertentu di atas dan di bawah titik 0 sumbu Y dan dari uji statistik *Glejser* menunjukkan probabilitas signifikansi variabel independen $> 5\%$ (Uyanto, 2009). Uji normalitas residual atau variabel pengganggu dapat dilakukan dengan uji *Kolmogorov – Smirnov*, yaitu bila nilai probabilitasnya $> 0,05$ maka residual berdistribusi normal. Uji linearitas untuk melihat apakah spesifikasi model yang digunakan sudah benar atau tidak. Dengan uji linearitas diperoleh informasi apakah model empiris sebaiknya linier, kuadrat, atau kubik. Hal ini dapat diuji dengan

Ramsey Test dengan cara mendapatkan *fitted value* dari variabel dependen dengan regresi linier. Kemudian variabel *fitted* tersebut diregres bersama-sama dengan model semula sebagai variabel independen. Nilai F statistik dihitung dengan Persamaan (2.24). Jika F hitung itu < F tabel maka model dalam bentuk linier (Ghozali, 2006).

$$F = \frac{(R^2_{new} - R^2_{old})/m}{(1 - R^2_{new})/(n - k)} \quad (2.24)$$

di mana:

m = jumlah variabel independen yang baru masuk

n = jumlah data observasi

k = banyaknya parameter dalam persamaan baru

R^2_{new} = nilai R^2 dari persamaan regresi baru

R^2_{old} = nilai R^2 dari persamaan regresi awal

Tujuan analisis regresi untuk menemukan nilai parameter dan menentukan tipe fungsi matematika terbaik. Analisis regresi umumnya dilakukan prosedur statistik untuk memprediksi tendensi tertentu berdasar pada set data pengamatan. Teknik regresi berganda telah digunakan untuk memodelkan hubungan antara kondisi operasi pemindahan tanah mekanis dan produktivitas. Hasil mengindikasikan bahwa ada hubungan linier yang kuat antara kondisi operasi dan produktivitas (Smith, 1999).

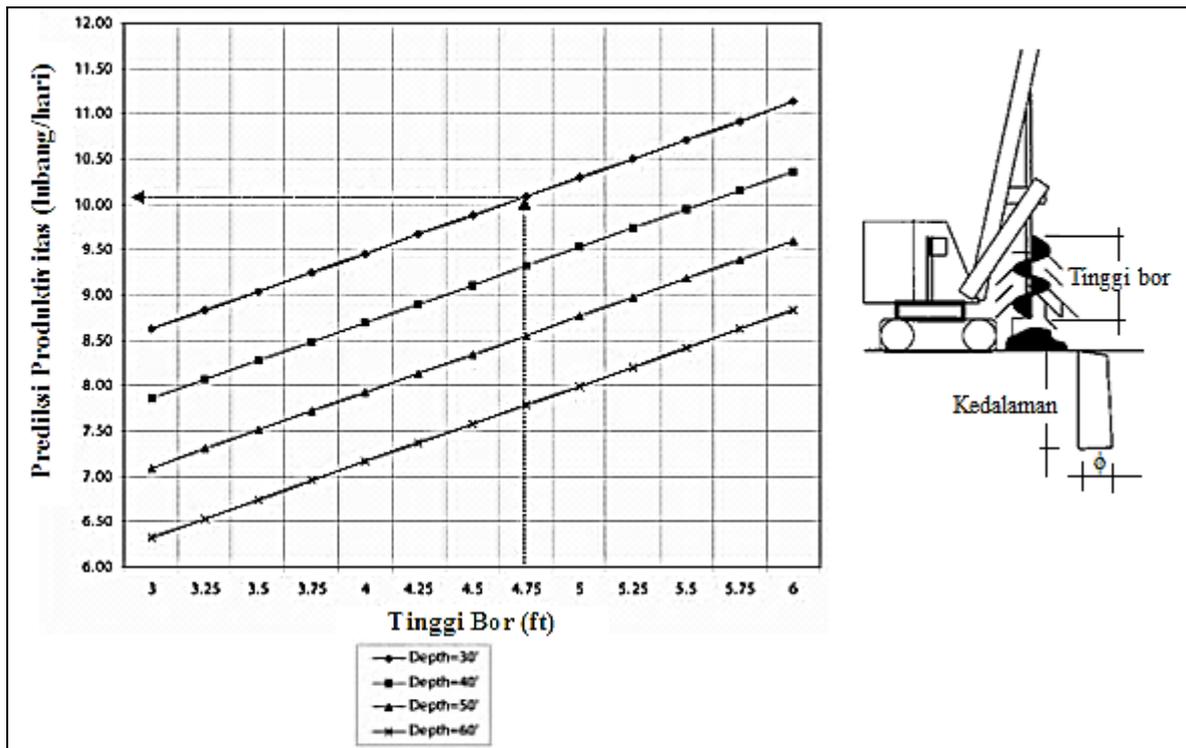
Teknik regresi berganda telah digunakan untuk memodelkan hubungan produktivitas proses tiang bor dengan kondisi operasinya dan mengindikasikan hasil yang memuaskan (Zayed and Halpin, 2005c). Hasil pemodelan regresi berganda tersebut diberikan pada Persamaan (2.25) dan Gambar 2-14.

$$\text{Produktivitas} = 8,4174 - 0,0766X_1 + 0,8347X_2 \quad (2.25)$$

di mana:

X_1 = variabel kedalaman

X_2 = variabel tinggi bor



Gambar 2-14. Produktivitas Tiang Bor pada Tanah Lempung (Zayed and Halpin, 2005c)

Penggunaan model regresi untuk estimasi produktivitas mempunyai batasan-batasan yang tidak boleh dilampaui, agar hasilnya dapat digunakan sebagai dasar perencanaan secara akurat. Batasan-batasan penggunaan model deterministik adalah sebagai berikut (Cottrell, 2011):

- 1) Hasil model regresi tidak tepat 100% karena hubungan dalam regresi merupakan hubungan statistik yang memperhitungkan adanya kesalahan, antar lain:
 - (1) Kesalahan saat mengukur variabel
 - (2) Kesalahan karena tidak semua variabel yang mempengaruhi produktivitas dimasukkan dalam persamaan regresi
 - (3) Kesalahan karena fungsi yang dipakai tidak cocok
 - (4) Kesalahan karena asumsi-asumsi yang tidak benar
- 2) Hasil model regresi tergantung pada pemilihan metode *input* variabel independen ke dalam model, karena variabel yang masuk lebih dahulu akan mendapat ruang lebih banyak untuk memprediksi variabel dependen, sehingga perlu dipertimbangkan untuk memasukkan lebih dahulu prediktor dengan daya prediksi yang besar jika prediktor lebih dari satu.

Model regresi ini dapat digunakan untuk estimasi produktivitas dengan persyaratan sebagai berikut (Ghozali, 2006; Uyanto, 2009):

- 1) Diketahui variabel dependen dan independen
- 2) Data berdistribusi normal

Keunggulan atau keuntungan model regresi ini adalah (Ghozali, 2006):

- 1) Aplikatif; program terintegrasi dalam berbagai *software* dengan sistem *windows* yang sesuai dengan komputer saat ini sehingga mudah diaplikasikan bagi pengguna pemula sekalipun
- 2) Akurat; meramalkan nilai rata-rata variabel dependen dari variabel independen untuk dasar perencanaan di waktu mendatang. Mempunyai kekuatan prediksi yang dapat diukur validitasnya berdasar data empiris. Mempunyai identifikasi tinggi karena hanya dihasilkan satu parameter terbaik menggunakan data yang ada.
- 3) Diketahui pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen; besarnya pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dapat diketahui dari persamaan matematika yang dihasilkan. Eksplanasi variasi variabel dependen dapat diukur dengan mudah menggunakan *adjusted R²*.

Kelemahan model regresi yaitu:

- 1) Tidak akan pernah menangkap realitas secara sempurna karena adanya penyederhanaan dalam pembuatan model (Uyanto, 2009)
- 2) Menggunakan studi ketergantungan statistik dengan variabel acak dari suatu variabel yang mempunyai distribusi probabilitas sehingga ramalan tidak tepat 100% (Cottrell, 2011)
- 3) Diperlukan jumlah *input* data yang besar mencakup bermacam-macam kondisi aktual (Ghozali, 2006)

2.5.4 Artificial Neural Network (ANN)

ANN merupakan teknik pemodelan yang menjanjikan, terutama untuk set data yang memiliki hubungan non-linier (Ion *et al.*, 2009) *ANN* (*Artificial Neural network*) atau JST (Jaringan Syaraf Tiruan) merupakan salah satu cabang dari *AI* (*Artificial Intelligence*) atau Kecerdasan Buatan. Definisi khusus jaringan syaraf (*neural network*) sangat beragam sesuai bidang di mana digunakannya. *ANN* merupakan sistem pemrosesan informasi dengan menirukan cara kerja otak manusia untuk menyelesaikan masalah dengan proses belajar (*learning*) melalui pembobotan sinapsisnya (SPSS, 2007). Han *et al.* (2011) mendefinisikan *ANN* sebagai alat yang menyediakan lingkungan perhitungan dalam bentuk jaringan yang saling berhubungan dari beberapa

unit proses sederhana yang mampu untuk memperoleh, mewakili, dan menerapkan pemetaan dari satu ruang informasi sebagai *input* ke ruang lain sebagai *output*. Dengan demikian *ANN* sebagai alat pemroses informasi dalam bentuk jaringan saraf yang saling berhubungan untuk menyelesaikan masalah dengan proses belajar melalui pembobotan sinapsisnya sebagai *input* sehingga diperoleh *output* yang valid.

Prinsip kerja *ANN* dengan menggunakan representasi dari sebuah neuron (sel saraf) manusia dan interaksi antar neuron-neuron tersebut (Lukas dkk., 2003), sedangkan cara kerja *ANN* (Raharjo, 2013) adalah:

- 1) Informasi yang masuk (*input*) akan dikirim ke neuron dengan bobot tertentu, selanjutnya suatu fungsi akan menjumlahkan nilai-nilai bobot yang ada
- 2) Hasil penjumlahan akan dibandingkan dengan nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap neuron
- 3) Jika *input* melewati suatu nilai ambang tertentu, maka neuron akan diaktifkan, jika tidak, maka neuron tidak akan diaktifkan.
- 4) Neuron yang diaktifkan akan mengirim *output* melalui bobot-bobot *output*-nya ke semua neuron yang berhubungan dengannya.

Beberapa asumsi dalam *ANN* adalah sebagai berikut (Raharjo, 2013):

- 1) Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (neuron)
- 2) Sinyal dikirimkan diantara neuron-neuron melalui penghubung (sinapsis)
- 3) Penghubung antar neuron (sinapsis) memiliki bobot (*weight*) yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal.
- 4) *Output* ditentukan menggunakan fungsi aktivasi yang dikenakan pada jumlah *input* yang diterima
- 5) *Output* dibandingkan dengan suatu *threshold*.

Penggunaan model *ANN* untuk estimasi produktivitas mempunyai batasan-batasan yang tidak boleh dilampaui agar hasilnya dapat digunakan sebagai dasar perencanaan secara akurat. Batasan-batasan penggunaan model *ANN* adalah sebagai berikut:

- 1) Hasil yang diperoleh tidak tepat 100%, karena *ANN* bekerja berdasarkan pola yang terbentuk pada *input*-nya (Ion *et al.*, 2009). Oleh karenanya, perlu dihindari kesalahan-kesalahan yang disebabkan oleh:
 - (1) Kesalahan saat mengukur variabel

- (2) Kesalahan karena tidak semua variabel yang mempengaruhi produktivitas dimasukkan sebagai faktor atau kovariat
 - (3) Kesalahan desain arsitektur jaringan
 - (4) Kesalahan menentukan metode *training* dan algoritma.
 - (5) Kesalahan menentukan fungsi aktivasi (fungsi transfer)
- 2) Hasil model *ANN* dipengaruhi oleh urutan variabel dalam daftar faktor atau kovariat maka urutan variabel dapat diubah untuk mendapatkan kestabilan solusi (SPSS, 2007).

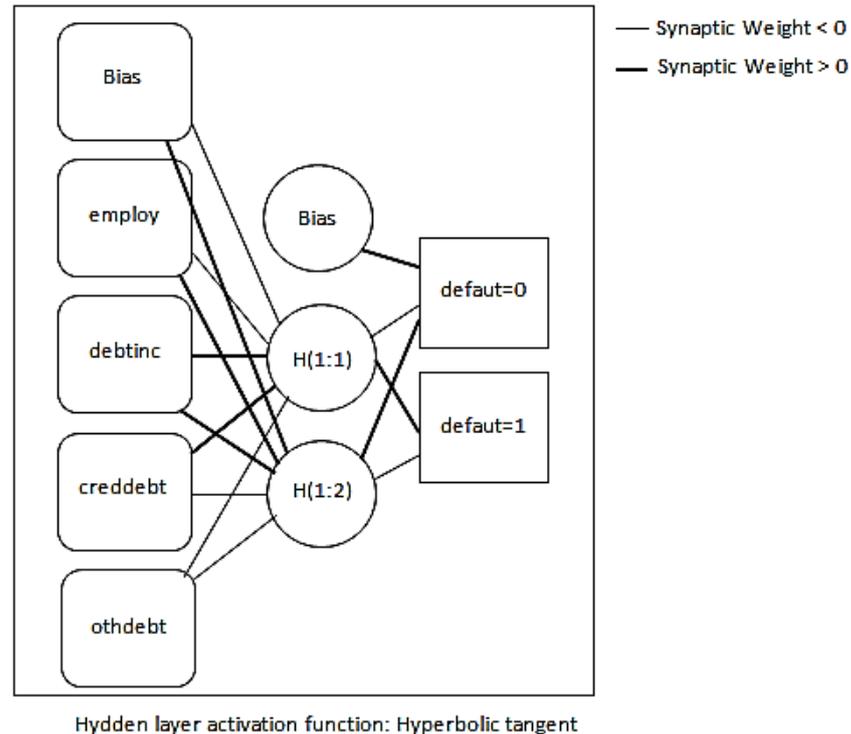
Model *ANN* ini dapat digunakan untuk estimasi produktivitas dengan persyaratan sebagai berikut (Han *et al.*, 2011):

- 1) Diketahui variabel dependen dan independen
- 2) Mengukur waktu siklus

Struktur jaringan syaraf terdiri dari jaringan *multilayer perceptron (MLP)* dan *radial basis function (RBF)*. Jaringan *MLP* atau *RBF* adalah fungsi prediktor (disebut juga *input* atau variabel independen) yang meminimalkan kesalahan prediksi variabel sasaran (disebut juga *output* atau variabel dependen). Prosedur *MLP* atau *RBF* menghasilkan model prediksi untuk 1 atau lebih variabel dependen berdasar pada nilai variabel prediktor. Perbedaan *MLP* dan *RBF* terdapat pada arsitektur jaringannya. Arsitektur jaringan dalam *MLP* dapat diatur sesuai keinginan kita ataupun diatur secara otomatis, sedangkan dalam jaringan *RBF* diatur secara otomatis menggunakan 1 lapisan tersembunyi. Arsitektur jaringan umum untuk menggambarkan hubungan fungsi dikenal dengan arsitektur umpan maju (*feedforward architecture*), karena hubungan dalam jaringan aliran maju dari lapisan *input* ke lapisan *output* tanpa umpan balik (SPSS, 2007), contoh strukturnya diberikan pada Gambar 2-15.

Gambar 2-15 menunjukkan bahwa lapisan *input* berisi prediktor yaitu *employ*, *debtinc*, *creddebt*, *othdebt*. Lapisan tersembunyi berisi unit atau *nodes* yang tidak dapat diobservasi yaitu H(1:1) dan H(1:2). Nilai tiap unit tersembunyi merupakan beberapa fungsi prediktor. Bentuk persis fungsi sebagian tergantung pada tipe jaringan dan sebagian pada spesifikasi kendali pengguna. Lapisan *output* berisi respon dengan 2 variabel indikator yaitu *defaut=0* dan *defaut=1*. Tiap unit *output* merupakan fungsi beberapa unit tersembunyi. Jaringan *MLP* memungkinkan lapisan tersembunyi kedua, tiap unit lapisan tersembunyi kedua merupakan fungsi dalam lapisan tersembunyi

pertama dan setiap respon adalah fungsi dari unit dalam lapisan tersembunyi kedua (SPSS, 2007).

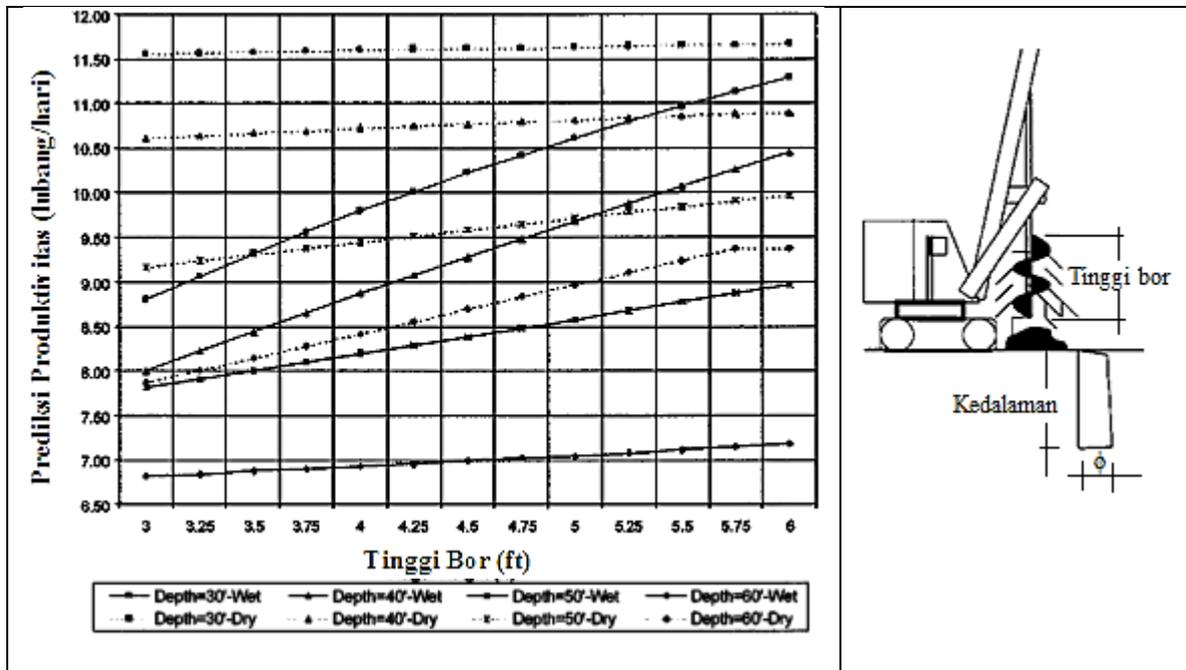


Gambar 2-15. Arsitektur Umpan Maju Dengan 1 Lapisan Tersembunyi (SPSS, 2007)

Sejak model ANN pertama kali diperkenalkan oleh McCulloch dan Pitts pada tahun 1943 hingga sekarang, telah banyak dikembangkan model berbeda yang dianggap sebagai ANN. Beberapa *software* yang dapat digunakan untuk pemodelan ANN adalah MINITAB, SPSS (*Statistical Product Service Solution*), dan Weka 3.5.7 atau dapat pula menggunakan bahasa pemrograman Java. Sebuah ANN disusun dari elemen proses sederhana, memanggil neuron ANN, sebuah arsitektur yang terdiri atas hubungan antara elemen dan bobot asosiasi tiap hubungan. ANN melakukan perhitungan dengan memperbanyak perubahan dalam aktivasi antar elemen proses di atas bobot hubungan (Han *et al.*, 2011). Data olahan digunakan untuk membangun, melatih, dan menguji jaringan (Ezeldin *and* Sharara, 2006). ANN mampu menangkap ketidaklinieran dan kekomplekan dari perubahan lingkungan tiap proyek konstruksi (Ok *and* Sinha, 2006).

ANN (*Artificial Neural Network*) merupakan perangkat prediksi dalam rekayasa (Han *et al.*, 2011). Program ANN banyak digunakan dalam mengestimasi produktivitas dengan hasil yang memuaskan misalnya: produktivitas *bored pile* (Zayed *and* Halpin,

2005a), produktivitas aktivitas pembetonan (Ezeldin *and* Sharara, 2006), produktivitas peralatan pemindahan tanah mekanis (Ok *and* Sinha, 2006; Han *et al.*, 2011), produksi operasi dapur tinggi (Laitinen *and* Saxen, 2007). Contoh hasil pemodelan ANN untuk produktivitas *bore pile* ditunjukkan pada Gambar 2-16.



Gambar 2-16. Produktivitas *Bore Pile* (Zayed *and* Halpin, 2005a)

Keunggulan atau keuntungan model ANN ini adalah:

- 1) Handal sebagai teknik pemodelan yang sangat memuaskan, karena (Ok *and* Sinha, 2006):
 - (1) Dapat membuat model suatu fungsi yang sangat kompleks, khususnya data non-linier
 - (2) Mampu mengakuisisi pengetahuan yang tidak ada kepastian
 - (3) Mampu melakukan generalisasi dan ekstraksi dari suatu pola data tertentu
 - (4) Mampu menciptakan suatu pola pengetahuan dan mengolah data input tanpa harus mempunyai target melalui pengaturan diri atau kemampuan belajar (*self organizing*)
 - (5) Mampu menghitung secara paralel sehingga proses lebih singkat
 - (6) Mampu menemukan suatu jawaban terbaik sehingga mampu meminimalisasi fungsi biaya
 - (7) Mampu menggambarkan suatu obyek secara keseluruhan hanya dengan bagian dari obyek lain

- (8) Mampu memilih suatu input data ke dalam kategori tertentu yang sudah ditetapkan
- 2) Proses “*learning*” ANN secara internal, sehingga tidak tergantung pada algoritma tertentu (SPSS, 2007)
 - 3) Hubungan antar elemen (*node ANN*) bersifat tersebar (*distributed*), sehingga kinerja ANN tidak menurun secara menyolok jika beberapa elemen rusak (SPSS, 2007)
 - 4) Memiliki *fault tolerance*, gangguan dapat dianggap sebagai *noise* saja (SPSS, 2007).
 - 5) Aplikatif; program terintegrasi dalam berbagai *software* dengan sistem *windows* yang sesuai dengan komputer saat ini sehingga mudah diaplikasikan bagi pengguna pemula (Ok and Sinha, 2006)
 - 6) Cepat diperoleh hasil yang akurat; meskipun hubungan antar variabel tidak diketahui dengan jelas namun mampu memberikan hasil yang cepat dan akurat (Han *et al.*, 2011).

Kelemahan model ANN adalah:

- 1) Kurang mampu melakukan operasi numerik dengan presisi tinggi (Lukas dkk., 2003)
- 2) Kurang mampu melakukan operasi algoritma aritmatik, operasi logika dan simbolis (Ok and Sinha, 2006)
- 3) Proses *training* memerlukan waktu yang lama untuk jumlah data yang sangat besar (Han *et al.*, 2011)
- 4) Memerlukan kecukupan set data masukan dan kesulitan teknik implementasi dalam praktek aplikasinya (Han *et al.*, 2011).

Metode baru diperkenalkan oleh Han *et al.* (2011) untuk memprediksi produktivitas operasi konstruksi. Metode itu merupakan kombinasi antara simulasi dengan ANN atau regresi ganda. Metode kombinasi ini dilakukan bila set data aktual tidak mencukupi untuk melakukan prediksi produktivitas yang dapat dipercaya. Metode kombinasi ini memberikan hasil prediksi yang lebih dipercaya dari pada metode prediksi konvensional (deterministik).

Pengukuran produktivitas *HSPD* dapat dipahami sebagai rasio *output* yang dihasilkan terhadap waktu siklus. Dalam sistem produksi *HSPD*, unit *output* adalah jumlah pekerjaan yang diselesaikan yaitu jumlah panjang tiang pancang yang masuk ke

dalam tanah atau jumlah titik pemancangan yang dapat diselesaikan, sedangkan faktor *input* adalah waktu kerja yang diperlukan peralatan untuk menghasilkan *output*. Pengukuran produktivitas *HSPD* dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu: metode deterministik atau metode analitis, metode simulasi yang dapat dilakukan dengan berbagai program simulasi yang dalam hal ini digunakan simulasi *Cyclone template* dalam *software Symphony*, metode analisis statistik yaitu menggunakan metode statistik regresi, dan metode *ANN* sebagai perangkat pembuat keputusan. Model deterministik, simulasi *Cyclone*, regresi, dan *ANN* pernah digunakan oleh Zayed and Halpin (2005a) untuk memodelkan produktivitas *bore pile* dan oleh Han *et al.* (2011) untuk memodelkan produktivitas pemindahan tanah mekanis dengan hasil yang dapat dipertanggungjawabkan.

2.6 Evaluasi Model

Model yang dibangun harus diuji untuk mengetahui validitas dan sensitivitas model. Uji validitas untuk mengetahui tingkat kecocokan model dengan kenyataan di lapangan. Uji sensitivitas untuk mengetahui konsistensi dan kestabilan model.

Model dibangun dengan 70% data dan 30% data untuk uji validitas (Zayed and Halpin, 2004a). Uji validitas model dilakukan dengan mencocokkan produktivitas estimasi hasil model dengan produktivitas aktual hasil perhitungan sehingga diperoleh faktor validasi atau nilai validitas. Nilai validitas dinyatakan dalam persen kecocokan, misalnya 95% keluaran model mempunyai 75% kecocokan data. Persen keluaran model atau nilai validitas dihitung menggunakan perbandingan antara produktivitas estimasi keluaran model dengan produktivitas aktual hasil perhitungan yang dapat dihitung dengan Persamaan (2.26) (Zayed and Halpin, 2005b). Selanjutnya dihitung banyaknya keluaran model yang bernilai 95% dibagi dengan jumlah data pembanding, sehingga diperoleh persen kecocokan data.

$$\text{Faktor validasi} = \frac{EP}{AP} \quad (2.26)$$

di mana:

EP = produktivitas estimasi hasil keluaran model

AP = produktivitas aktual hasil perhitungan

Model yang dibangun hendaknya stabil dan konsisten yang dapat diperiksa dengan uji sensitivitas sehingga diperoleh persentase sensitivitas. Cara yang dapat

dilakukan adalah dengan merubah *input* model (Zayed and Halpin, 2004b). Model yang konsisten dan stabil bila keluaran model sebelum dan sesudah perubahan *input* mempunyai pola yang sama. Penyimpangan keluaran model sebelum dan sesudah perubahan *input* dapat diukur untuk menentukan tingkat kepercayaan model. Hubungan antara sensitivitas dan tingkat kepercayaan lazimnya dinyatakan dengan teori Bayes (*success-run theorem*), dinyatakan dalam Persamaan (2.27) yang digunakan untuk menguji reliabilitas populasi (Reksoatmodjo, 2009).

$$R_C = (1 - C)^{\frac{1}{n+1}} \quad (2.27)$$

di mana:

R_C = reliabilitas pada tingkat kepercayaan C

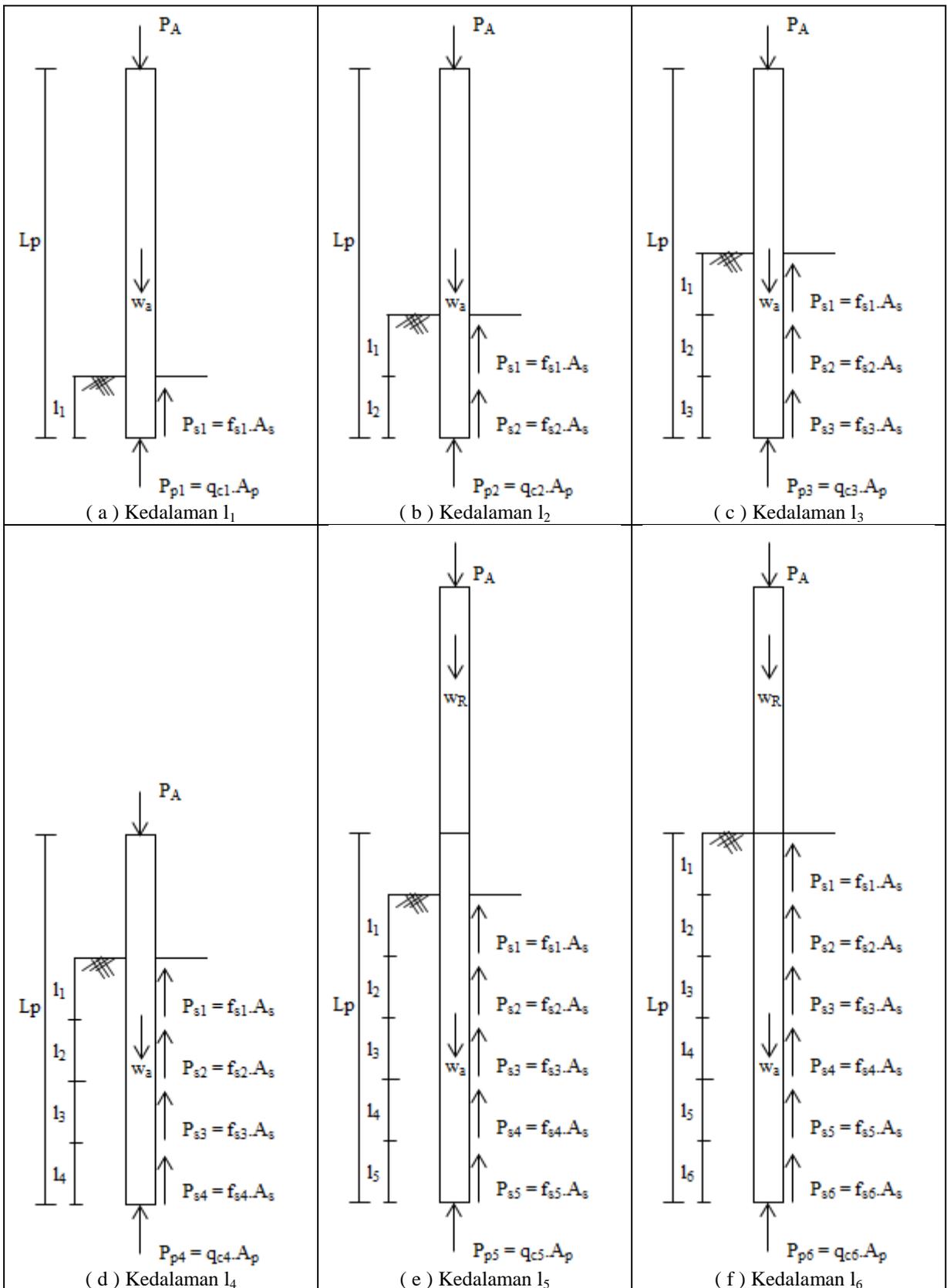
C = tingkat kepercayaan

n = jumlah data observasi (ukuran sampel)

2.7 Variabel-Variabel Produktivitas *HSPD*

Nilai produktivitas alat pancang *HSPD* dipengaruhi oleh variabel-variabel: sumberdaya manusia, kondisi proyek, ukuran tiang pancang, alat pancang, dan minimalnya aktivitas pekerjaan yang tidak produktif (Sumito dan Antonioes, 2009; Wenas dan Gendo, 2010). Variabel-variabel produktivitas *HSPD* dapat pula dikaji dari fenomena pemancangan yang diilustrasikan pada Gambar 2-17 (Bowles, 1996).

Gambar 2-17 menunjukkan proses pemancangan menggunakan alat *HSPD* sampai kedalaman L_p . Kedalaman pemancangan ini dibagi dalam beberapa segmen, misalnya l_1 sampai l_6 . Pada segmen l_1 sampai l_4 , gaya dukung ujung tiang pada kedalaman i (P_{pi}) dan gaya gesek dinding tiang pada kedalaman i (P_{si}) memberikan perlawanan terhadap gaya tekan alat (P_A) dan berat tiang pancang (w_a), sedangkan pada segmen l_5 dan l_6 gaya tersebut memberikan perlawanan terhadap gaya tekan alat (P_A), berat tiang pancang (w_a) dan berat ruyung (w_R). Perlawanan ini mengurangi kecepatan penetrasi tiang ke dalam tanah, sehingga mempengaruhi kebutuhan waktu tekan.



Gambar 2-17. Fenomena Pemancangan (Bowles, 1996)

Keterangan:

A_p	= luas penampang tiang (m^2)	P_A	= gaya tekan alat (ton)
A_s	= luas dinding tiang tiap i m kedalaman (m^2)	P_{pi}	= gaya dukung ujung tiang pada kedalaman i (ton)
f_{si}	= daya gesek konus <i>CPT</i> pada kedalaman i (ton/m^2)	P_{si}	= gaya gesek dinding tiang pada kedalaman i (ton)
i	= 1, 2, 3,	q_{ci}	= gaya dukung konus <i>CPT</i> pada kedalaman i (ton/m^2)
l_i	= kedalaman ke i (m)	w_a	= berat tiang (ton)
L_p	= panjang tiang (m)	w_R	= berat ruyung (ton)

Beban ke bawah (P_A , w_a , dan w_R) bersifat tetap, sehingga tidak mempengaruhi perubahan kecepatan tekan, sedangkan gaya ke atas (P_{pi} dan P_{si}) berubah-ubah tergantung daya dukung tanah, ukuran tiang pancang, dan kedalaman pemancangan, sehingga mempengaruhi kecepatan tekan. Jika pemancangan membutuhkan penyambungan tiang, maka waktu penyambungan mempengaruhi kebutuhan waktu siklus. Hal ini menunjukkan bahwa pemancangan pada kedalaman yang sama, jika digunakan panjang tiang pancang yang berbeda, dibutuhkan waktu siklus yang berbeda. Pemancangan pada beberapa kelompok tiang dipengaruhi pula oleh pola pemancangan. Dengan demikian, produktivitas pemancangan dipengaruhi oleh: jenis tanah, ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, waktu siklus, dan pola pemancangan.

Variabel-variabel produktivitas yang disebutkan di atas diperluas terhadap kasus yang diteliti, sehingga terdapat beberapa faktor utama dan faktor pengganggu yang mempengaruhi produktivitas alat. Faktor utama meliputi: sumberdaya manusia (operator dan pekerja), jenis tanah, ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, waktu aktivitas pemancangan atau waktu siklus, pola pemancangan, dan sistem pondasi. Faktor pengganggu dibagi menjadi 2 kelompok yaitu: faktor pengganggu yang dapat dikontrol dan yang tidak dapat dikontrol. Faktor pengganggu yang dapat dikontrol, misalnya: kemampuan manajerial, peraturan keselamatan kerja, kondisi mesin, rencana titik-titik pemancangan, rencana kerja, dan kesetiaan pekerja. Faktor pengganggu yang tidak dapat dikontrol, misalnya: kondisi cuaca, kendala dalam tanah, dan kondisi lapangan.

Faktor utama disebut sebagai variabel utama karena dapat berubah-ubah dan dominan mempengaruhi produktivitas alat serta dapat diobservasi secara kuantitatif. Faktor pengganggu yang dapat dikontrol diasumsikan sudah tetap karena dapat dikondisikan untuk mencapai tujuan, sehingga diabaikan pengaruhnya. Faktor

pengganggu yang tidak dapat dikontrol sulit diukur secara rinci karena sulit diprediksi kejadiannya, sehingga pengaruhnya diwakili dengan faktor efisiensi kerja. Seperti dituliskan dalam Komatsu (2006), bahwa banyak faktor yang mempengaruhi produksi alat berat, namun sulit diukur satu persatu, oleh karena itu, pengaruhnya diwakili oleh faktor efisiensi kerja. Oleh karena itu, hanya beberapa variabel yang diuraikan pada sub bab berikut ini.

2.7.1 Ukuran Tiang Pancang Beton

Tiang dapat diklasifikasikan berdasar penggunaannya atau materialnya. Berdasar penggunaannya diklasifikasikan menjadi: *sheet* dan *load bearing*. *Sheet piles* digunakan untuk konstruksi dinding pemisah tanah dan air serta konstruksi parit. *Load bearing piles* digunakan dengan mempertimbangkan kapasitas dukung tiang (Peurifoy *et al.*, 2006). Tiang pancang beton umumnya diproduksi oleh pabrik tiang pancang. WIKA Beton (2012) sebagai produsen beton Indonesia memproduksi tiang pancang beton dengan bentuk penampang melintang segitiga, bujursangkar, dan bulat. Namun tidak menutup kemungkinan tiang pancang beton diproduksi langsung oleh kontraktor pelaksana. Tiang pancang beton berpenampang bujursangkar dan bulat banyak digunakan pada bangunan gedung maupun bangunan sipil. Kedua jenis tiang pancang tersebut menggunakan metode sambungan dengan pengelasan dan metode instalasi dengan pemukul jatuh bebas dan penekanan (Gue, 2007).

Panjang maksimum tiang beton pracetak 10 – 15 m dan pratekan 20 – 30 m (Bowles, 1996). Sumber-sumber lain menyatakan bahwa tiang beton pracetak diproduksi dengan panjang 12 – 15 m (U.S. Army Corps of Engineers, 2004). Tiang pancang beton persegi berukuran panjang 3 – 12 m sedangkan tiang silinder berukuran panjang 6 – 12 m (Gue, 2007). WIKA Beton (2012) memproduksi tiang pancang beton dengan panjang berkisar antara 6 – 16 meter. Umumnya panjang tiang pancang beton dibuat sesuai permintaan konsultan yang disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan.

Tiang persegi padat berukuran 25 – 50 cm, sedangkan tiang silinder dicetak dengan diameter 90, 105, 120, 135, dan 165 cm (Peurifoy *et al.*, 2006). Gue (2007) menuliskan ukuran tiang pancang beton persegi 15 – 40 cm dan tiang silinder berdiameter 25 – 100 cm. WIKA Beton (2012) memproduksi bentuk segitiga sama sisi berukuran sisi 22 cm, 24 cm, 26 cm, 28 cm, dan 32 cm. Bentuk bujursangkar berukuran sisi 35 cm, 40 cm, 45 cm, dan 50 cm. Bentuk bulat berdiameter 30 cm, 35 cm, 40 cm,

45 cm, 50 cm, dan 60 cm. Tiang pancang beton dimensi kecil biasanya dibuat oleh kontraktor sendiri, misalnya tiang pancang segitiga ataupun bujursangkar 20 cm, 25 cm, dan 30 cm.

Faktor yang mempengaruhi pemilihan ukuran tiang pancang adalah: tipe, ukuran, dan berat struktur yang didukung; sifat-sifat fisik lapisan tanah di lokasi; kedalaman lapisan yang mampu mendukung tiang; variasi kedalaman lapisan pendukung untuk semua lokasi; ketersediaan material tiang; jumlah tiang yang dibutuhkan; alat pancang; perbandingan biaya di lokasi; ketahanan yang dibutuhkan; tipe struktur yang berdekatan dengan proyek; kedalaman dan jenis air di atas tanah sampai tiang yang akan dipasang (Assakkaf, 2003). *U.S. Army Corps of Engineers* (2004) memberikan hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan tiang yaitu: tipe tiang tergantung pada tipe tanah, korosi, ketersediaan lokal dan biaya, pilihan kontraktor, dan kapasitas beban yang dibutuhkan pondasi.

Dari penjelasan di atas terdapat berbagai macam bentuk penampang dan ukuran tiang pancang beton. Bentuk penampang tiang pancang beton yang sering digunakan yaitu bujursangkar, silinder, dan segitiga. Ukuran tiang pancang beton meliputi panjang dan dimensi penampang. Panjang tiang pancang beton yang biasa digunakan di lapangan yaitu 3 – 12 m. Namun tidak menutup kemungkinan dicetak panjang sesuai permintaan. Dimensi penampang tiang pancang beton yang sering digunakan untuk bangunan gedung menengah adalah: bujursangkar 20 x 20 cm, 25 x 25 cm, 30 x 30 cm dan segitiga 32 x 32 x 32 cm.

Dimensi penampang tiang pancang dan panjang tiang pancang mempengaruhi produktivitas *HSPD*. Dimensi penampang mempengaruhi gaya dukung ujung tiang dan kecepatan penetrasi tiang ke dalam tanah sehingga waktu tekan bervariasi. Makin luas penampang tiang maka gaya dukung ujung tiang makin besar dan kecepatan penetrasi tiang ke dalam tanah makin lambat pada jenis tanah yang sama. Hal ini mengakibatkan waktu penetrasi makin besar yang mempengaruhi waktu siklus sehingga produktivitas makin kecil. Panjang tiang pancang mempengaruhi banyaknya sambungan tiang sehingga mempengaruhi waktu siklus. Makin banyak sambungan tiang yang dibutuhkan maka waktu siklus makin besar sehingga produktivitas makin kecil.

Penggunaan panjang tiang pancang perlu direncanakan sedemikian rupa supaya diperoleh produktivitas yang maksimum. Berkaitan dengan pabrikan tiang pancang, maka skenario penggunaan panjang tiang dapat dilakukan sebagai berikut:

- 1) Kedalaman pemancangan 6 m menggunakan 1 tiang pancang panjang 6 m.
- 2) Kedalaman pemancangan 12 m menggunakan 2 tiang pancang panjang 6 m dengan 1 sambungan pengelasan.

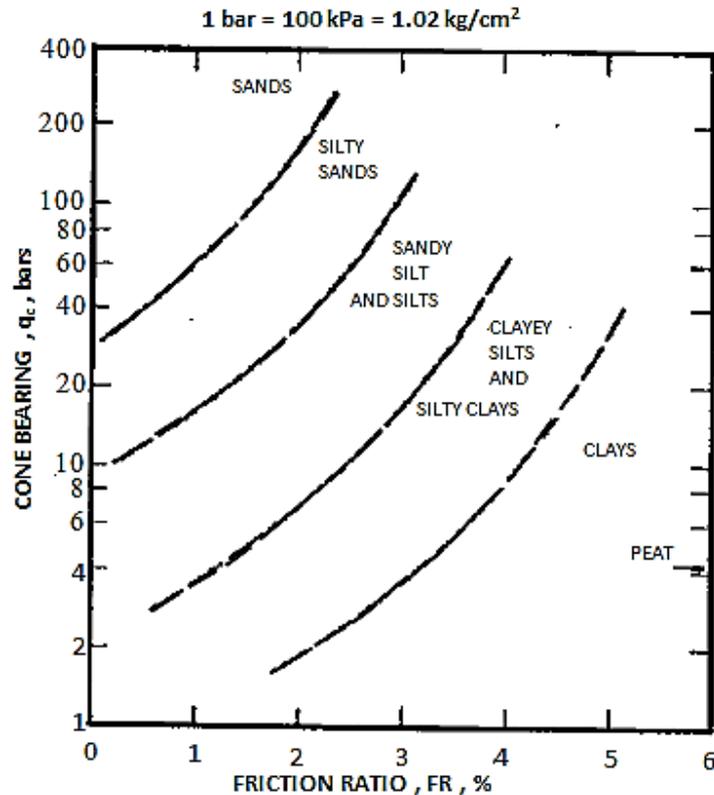
2.7.2 Jenis Tanah dan Kedalaman Pemancangan

Sistem klasifikasi tanah yang digunakan dalam teknik sipil antara lain: *UFSCS* (*Uniform Field Soil Classification System*), *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), dan *USCS* (*Unified Soil Classification System*). *ASTM D 2487-06* (2006) mengacu pada *USCS* mengklasifikasikan tanah berdasar ukuran butirnya yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung). *UFSCS* selain mengklasifikasikan tanah seperti *ASTM D 2487-06* juga mengklasifikasikan tanah berdasar daya dukung beban dan perlawanan deformasi yaitu tanah kohesif dan tanah non-kohesif.

CPT (*Cone Penetration Test*) menjadi populer sebagai uji lapangan untuk investigasi lokasi dan desain geoteknik. Kelebihan *CPT* dari *SPT* adalah: prosedur uji sederhana, mampu melakukan pengulangan, akurat, pencatatan profil tanah terus-menerus, sifat mereproduksi hasil dan data uji lebih diterima untuk analisis rasional (Robertson *et al.*, 1983; Stark and Olson, 1995; Robertson, 2009). Profil tanah dari uji *CPT* dapat diperkirakan menggunakan beberapa grafik yaitu: grafik Begemann, grafik Schmertmann, grafik Douglas-Olsen, grafik Robertson-Campanella, grafik Robertson, grafik Eslami-Fellenius (Fellenius, 2009). Titi and Murad (1999) menuliskan bahwa klasifikasi dan identifikasi statigrafi tanah dapat diperoleh dari analisis data *CPT* dengan grafik Douglas-Olsen, grafik dari Robertson-Campanella dan grafik Zhang-Tumay. Robertson *et al.* (1983) memberikan grafik yang disesuaikan dari grafik Douglas-Olsen untuk klasifikasi tanah sederhana menggunakan data *CPT* yang ditunjukkan pada Gambar 2-18. Selanjutnya, Robertson (1990) menyatakan bahwa klasifikasi tanah menggunakan data *CPT* yang diusulkan oleh Douglas-Olsen dapat memberikan petunjuk tipe perilaku tanah.

Uraian di atas memberikan pengertian bahwa tanah terbagi dalam 2 kelompok besar yaitu tanah kohesif dan tanah non-kohesif. Lempung termasuk tanah kohesif sedangkan kerikil, pasir, dan lanau termasuk tanah non-kohesif. Kondisi alam jarang ditemukan jenis tanah yang homogen, biasanya terjadi kombinasi antara lempung, lanau, dan pasir. Misalnya: lempung kelanauan (*silty clays*), lanau kelempungan

(*clayey silts*), lanau kepasiran (*sandy silts*), dan pasir kelanauan (*silty sands*). Keberadaan lensa tentu akan mempengaruhi kecepatan pemancangan namun tidak semua titik pemancangan dalam satu lokasi terdapat lensa semuanya. Keberadaan lensa sulit diprediksi meskipun terdapat data sondir karena sondir tidak dilakukan pada semua titik pemancangan sehingga penelitian ini mengasumsikan jenis tanah homogen.



Gambar 2-18. Grafik Klasifikasi Tanah Sederhana Berdasar *CPT* (Robertson *et al.*, 1983)

Kedalaman pemancangan tergantung pada jenis tanah dan mekanisme transfer beban yang direncanakan berdasar nilai *CPT*. Kedalaman pemancangan diketahui setelah diperoleh data *CPT* dan hasil perencanaan mekanisme transfer beban dari konsultan. Kedalaman tanah keras merupakan misteri yang tidak dapat diketahui secara pasti letaknya. Pengujian *CPT* yang dilakukan pada suatu lokasi hanya mengetahui daya dukung tanah pada titik yang diuji. Hasil pengujian digunakan untuk mewakili keseluruhan lokasi pemancangan.

Secara teori pondasi tiang pancang dipancang sampai kedalaman tanah keras bila direncanakan dengan *end bearing pile*, atau dipancang sampai kedalaman tertentu bila letak tanah keras tidak diketahui atau sangat dalam, maka dapat direncanakan dengan *friction pile*. Apabila data *CPT* tidak menunjukkan letak tanah keras maka penggunaan

tiang pancang tidak sepenuhnya berfungsi sebagai pondasi melainkan untuk perbaikan tanah dan menahan penggulingan. Oleh karena itu terdapat 2 kemungkinan kedalaman pemancangan, yaitu pemancangan sampai kedalaman tanah keras dan pemancangan tidak sampai tanah keras.

Pemancangan berasumsi *end bearing pile* maka pemancangan dilakukan sampai kedalaman tanah keras. Kedalaman pemancangan ini dipengaruhi oleh posisi kedalaman tanah keras atau beban rencana tiang pancang, kekerasan lapisan yang dilewati dan hambatan-hambatan dalam tanah yang mungkin ada sehingga mempengaruhi waktu penetrasi selanjutnya mempengaruhi produktivitas. Makin dalam kedalaman pemancangan maka makin besar waktu penetrasi yang dibutuhkan sehingga produktivitas akan makin kecil. Selain itu kedalaman pemancangan juga mempengaruhi penggunaan panjang tiang pancang.

2.7.3 Waktu Siklus

Pekerjaan pemancangan memerlukan sejumlah waktu untuk menyelesaikannya. Durasi waktu yang diperlukan untuk 1 titik pemancangan disebut waktu siklus pemancangan. Waktu siklus adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan satu siklus kegiatan dari gerakan awal sampai kembali lagi pada gerakan awal tersebut (Partanto, 2000; Nurhakim, 2004). Siklus kegiatan itu terdiri dari beberapa aktivitas pemancangan.

Aktivitas pemancangan merupakan langkah kegiatan secara berurutan yang dilakukan untuk memancarkan tiang pancang. Siklus pemancangan terpanjang dalam mekanisme pemancangan menggunakan alat *HSPD*, yang ditunjukkan pada Gambar 2-3 pada sub bab sebelumnya, terdiri dari 5 aktivitas pemancangan secara berurutan, yaitu: menyiapkan tiang pancang (siap TP), menekan tiang pancang pertama (tekan TP1), mengelas sambungan pertama (las 1), menekan tiang pancang kedua (tekan TP2), dan memindahkan alat pancang pada titik berikutnya (pindah alat) oleh operator *HSPD*, dan operator *crane* memposisikan lengan *crane* di atas tumpukan TP, kemudian siklus berulang dari awal.

Aktivitas pemancangan yang terdiri dari 5 aktivitas tersebut tidak harus dilaksanakan semuanya. Aktivitas menyiapkan TP (tiang pancang), menekan TP, dan pindah alat merupakan aktivitas tetap yang pasti dilakukan dalam semua kondisi pemancangan. Aktivitas mengelas sambungan dan menekan TP berikutnya tergantung pada kedalaman pemancangan dan panjang tiang pancang yang digunakan. Oleh karena

itu, terdapat beberapa alternatif aktivitas pemancangan yang dapat digunakan sesuai kedalaman pemancangan dan panjang tiang pancang yang digunakan, yaitu:

- 1) Alternatif A: pemancangan tanpa sambungan tiang terdiri dari:
 - (1) Menyiapkan TP (tiang pancang) meliputi: mengikat TP, mengangkat TP, memasukkan TP pada *grip*, dan menyesuaikan sumbu titik.
 - (2) Menekan TP dan sisanya dengan bantuan ruyung.
 - (3) Memposisikan alat pada titik berikutnya.
- 2) Alternatif B: pemancangan dengan 1 sambungan tiang terdiri dari:
 - (1) Menyiapkan TP (tiang pancang) meliputi: mengikat TP, mengangkat TP, memasukkan TP pada *grip*, dan menyesuaikan sumbu titik.
 - (2) Menekan TP1 (tiang pancang 1) dan menyiapkan TP2 (tiang pancang 2).
 - (3) Mengelas sambungan TP.
 - (4) Menekan TP2 dan sisanya dengan bantuan ruyung.
 - (5) Memposisikan alat pada titik berikutnya.

Alternatif-alternatif tersebut dengan ketentuan tidak melibatkan pekerjaan pemotongan sisa tiang pancang.

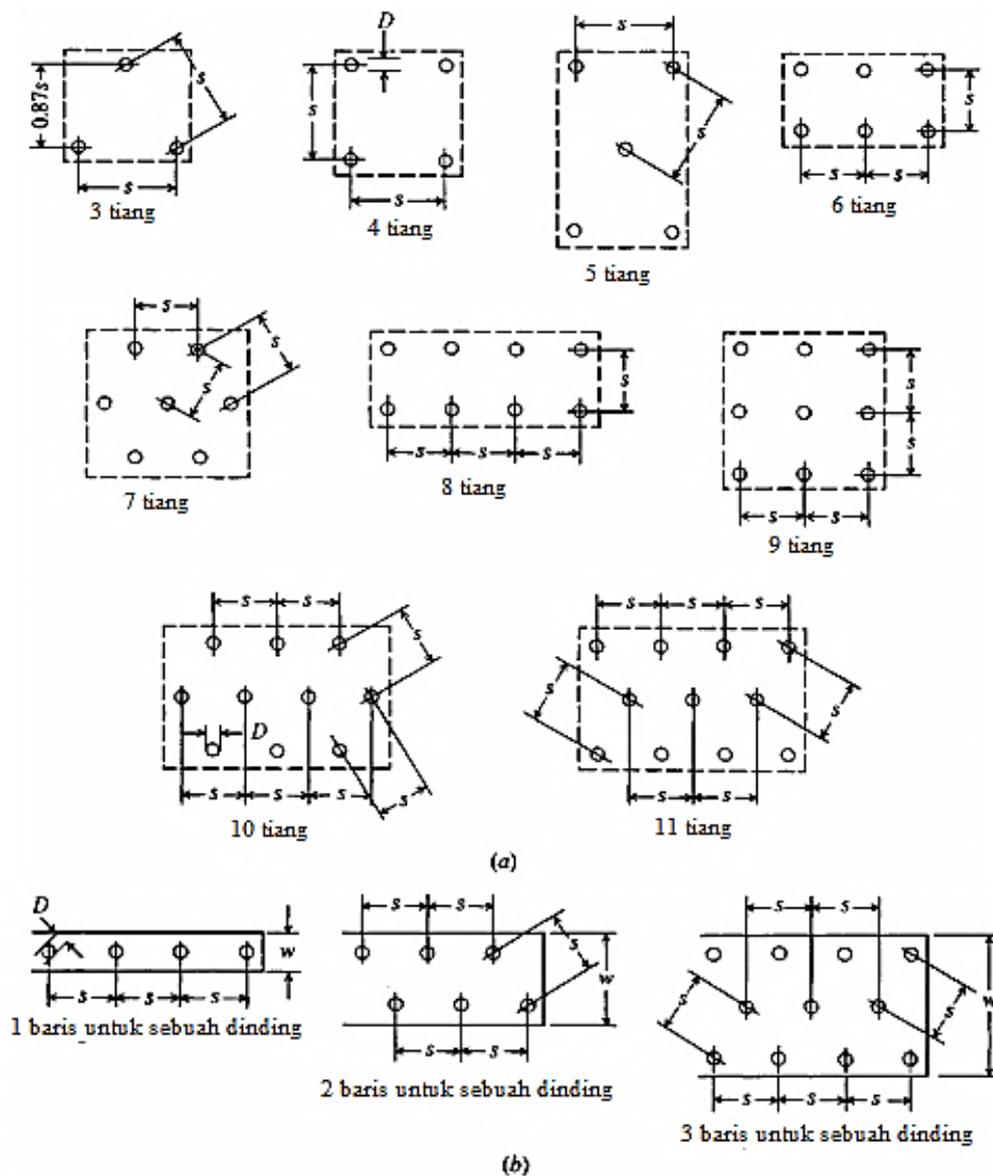
Pada prinsipnya aktivitas pemancangan terdiri dari 4 aktivitas yaitu menyiapkan TP (siap TP), menekan TP (tekan TP), mengelas sambungan (las), dan memposisikan alat pada titik berikutnya (pindah alat). Masing-masing aktivitas memerlukan waktu penyelesaiannya. Misalnya untuk alternatif A, waktu siklus merupakan penjumlahan waktu siap TP, tekan TP, dan pindah alat. Alternatif B, waktu siklus merupakan penjumlahan waktu siap TP, tekan TP, las, dan pindah alat.

Perbedaan panjang tiang dan kedalaman pemancangan akan mempengaruhi banyaknya aktivitas pemancangan. Banyaknya aktivitas pemancangan mempengaruhi besarnya waktu siklus sehingga mempengaruhi produktivitas. Produktivitas alat sangat tergantung pada besarnya waktu siklus yang merupakan masukan sistem produksi. Waktu siklus pemancangan timbul karena adanya aktivitas-aktivitas pemancangan. Hal ini berarti bahwa makin banyak aktivitas pemancangan pada suatu kedalaman maka makin besar waktu siklusnya sehingga akan mempengaruhi produktivitas alat.

2.7.4 Pola Pemancangan (Sistem Kepala Tiang)

Secara umum konstruksi bangunan dapat dikelompokkan menjadi bangunan gedung dan bangunan teknik sipil. Bangunan teknik sipil antara lain meliputi: jembatan,

bendungan, dan dinding penahan. Bangunan gedung yang menggunakan pondasi tiang pancang biasanya merupakan bangunan bertingkat. Penempatan titik-titik tiang pancang dapat mengikuti pola-pola tertentu yang telah direncanakan oleh konsultan perencana. Pola-pola pemancangan dalam Gambar 2-19 dapat digunakan sebagai standar perencanaan. Jarak pusat ke pusat (s) minimum $2D$ atau ≥ 610 mm untuk tipe tiang tahanan ujung dan $2D$ atau ≥ 760 mm untuk tipe tiang gesek (Bowles, 1996). D merupakan diameter tiang pancang.



Gambar 2-19. Pola Model Kelompok Tiang: (a) Untuk *Pile Caps* Terpisah; (b) Untuk Pondasi Dinding (Bowles, 1996)

Pola pada Gambar 2-19(a) digunakan untuk pemancangan bangunan gedung dan Gambar 2-19(b) untuk pemancangan bangunan teknik sipil. Jarak antar tiang pancang dalam 1 *pile cap* cukup dekat dan relatif sama, sehingga waktu yang diperlukan untuk perpindahan alat pancang juga relatif sama, sedangkan jarak antar *pile caps* cukup jauh dibandingkan jarak antar tiang pancang. Pola pada Gambar 2-19(b) waktu pindah alat pancang relatif sama karena titik-titik pemancangan terletak dalam 1 *pile cap*. Pola pada Gambar 2-19(a) memerlukan waktu pindah alat yang lebih lama untuk pindah dari *pile cap* satu ke lainnya yang mempunyai jarak lebih besar dari jarak pusat ke pusat tiang pancang (s). Jarak antar *pile caps* biasanya berkisar 3 – 7,5 m.

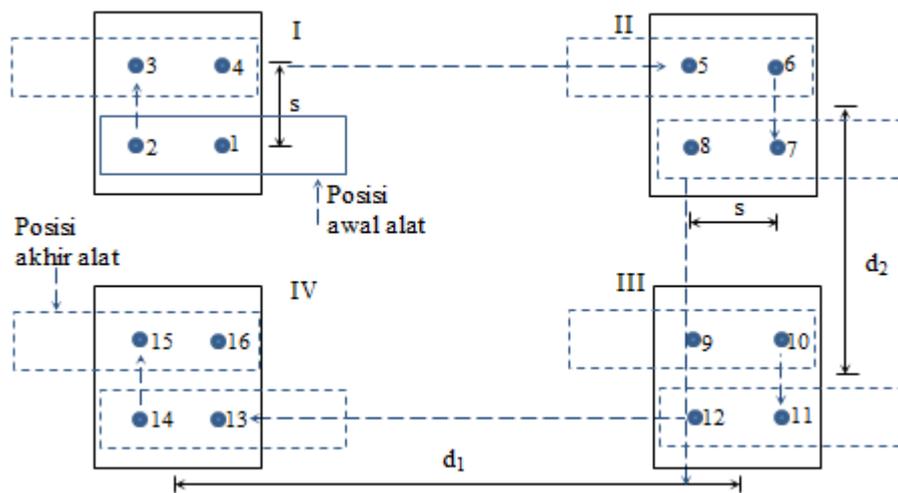
Penjelasan di atas memberikan petunjuk bahwa pola pemancangan terbagi 2 yaitu pola pemancangan dengan *pile caps* terpisah untuk bangunan gedung dan pola pemancangan dengan *pile caps* menyatu untuk bangunan teknik sipil. Pola pemancangan ini mempengaruhi waktu pindah alat yang selanjutnya mempengaruhi produktivitas alat. Dalam 1 *pile cap* mempunyai jarak titik yang relatif konstan sehingga waktu pindah alat juga relatif konstan. Sehingga dapat digunakan waktu pindah alat rata-rata dalam 1 *pile cap*. Jarak antar *pile caps* bervariasi tergantung perencanaan struktur bangunan yang menyebabkan perbedaan waktu pindah alat yang signifikan sehingga produktivitas tidak konsisten. Oleh karena itu, waktu pindah alat antar *pile caps* dipisahkan dengan waktu pindah alat dalam 1 *pile cap*. Waktu tersebut dikelompokkan berdasar jarak antar *pile caps* yaitu antara 3 – 7,5 m yang selanjutnya diperhitungkan sebagai waktu tambahan untuk penyelesaian keseluruhan pekerjaan.

Apabila waktu pindah antar *pile caps* diikutkan dengan waktu pindah alat dalam 1 *pile cap* maka ada perbedaan yang signifikan. Selain itu produktivitas alat menjadi tidak konsisten. Dengan demikian variabel pola pemancangan mempengaruhi waktu siklus yang mengakibatkan produktivitas alat tidak konsisten. Pola pergerakan alat ditunjukkan pada Gambar 2-20.

2.7.5 Sistem Pondasi Tiang Pancang

Pondasi dalam terdapat beberapa jenis pondasi, yaitu: pondasi tiang pancang dan pondasi bor (Bowles, 1996). Kedua jenis pondasi dalam tersebut memiliki kesamaan, yaitu untuk menyalurkan beban konstruksi di atasnya ke lapisan tanah dibawahnya yang mampu mendukung beban. Kedua jenis pondasi itu berbeda pada sistem pemasangannya dan peralatan yang digunakan. Pondasi tiang pancang dipasang dengan

menekan, memukul, atau menggetarkan tiang pancang sehingga masuk ke dalam tanah sampai kedalaman yang diinginkan. Pondasi bor dipasang dengan melobangi tanah sampai kedalaman tertentu, selanjutnya mengisi lobang bor dengan beton bertulang. Pemasangan pondasi bor menggunakan peralatan mesin bor dan alat bantu pembetonan. Pemasangan pondasi tiang pancang dapat menggunakan beberapa peralatan, antara lain: *pile hammer*, *vibratory drivers*, dan *hydraulic jacking-in pile* (Bowles, 1996; Peurifoy *et al.*, 2006; PDCA, 2003). Perbedaan sitem kerja peralatan tersebut akan memberikan perbedaan produktivitas kerjanya.



Gambar 2-20. Pola Pergerakan Alat (Habib, 2012)

Keterangan:

- I, II, III, IV : *pile cap*
- 1, 2, ..., 16 : urutan titik pemancangan
- s : spasi titik pancang
- d_1, d_2 : jarak antar *pile caps*
- > : perpindahan alat pancang

Hydraulic jacking-in pile merupakan alat pancang dengan sistem menekan tiang pancang untuk masuk ke dalam tanah. Alat ini terdiri dari 2 tipe, yaitu: *hydraulic crawler pile driver* dan *hydraulic static pile driver (HSPD)* (Alibaba, 2012). *HSPD* terdiri dari beberapa seri yang berbeda kapasitasnya, seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.1. Perbedaan kapasitas *HSPD* mempengaruhi kecepatan penetrasi tiang pancang ke dalam tanah, sehingga mempengaruhi produktivitas alat.

Sistem pondasi tiang pancang terdiri dari susunan kelompok tiang yang terpisah dan yang menyatu. Kelompok tiang yang terpisah digunakan pada bangunan gedung, sedang kelompok yang menyatu digunakan pada bangunan sipil. Sistem pemancangan

pada kedua kelompok ini terdapat perbedaan pada waktu pindah alat antar titik pancang. Kelompok tiang pancang pada bangunan gedung dipisahkan dengan beberapa *pile cap*, sehingga memerlukan waktu pindah alat antar *pile caps*. Kelompok tiang pada bangunan sipil tidak dipisahkan oleh *pile cap* tetapi menyatu keseluruhannya dengan satu *pile cap*, sehingga waktu pindah alat antar titik pancang akan konstan. Perbedaan ini akan mempengaruhi produktivitas alat pancang, jika peninjauannya terhadap keseluruhan bangunan.

2.7.6 Sumberdaya Manusia

Sumberdaya manusia merupakan faktor penting yang mempengaruhi produktivitas alat, karena alat dioperasikan oleh operator. Kecapakan operator menentukan efektivitas kerja peralatan. Kecapakan operator dapat diukur dari pengalamannya dan pelatihan yang pernah diikutinya. Operator harus memiliki sertifikat keahlian dan/atau keterampilan sebagai tuntutan kualitas tenaga kerja yang dapat diandalkan. Operator alat berat diharapkan kompeten dalam segi teknis pengetahuan, keterampilan, dan menghasilkan produk yang berorientasi pada mutu, waktu, dan volume pekerjaan yang menjadi tugasnya (RSKKNI, 2010).

Sertifikat Keahlian dan/atau Keterampilan dapat dimiliki seorang operator melalui uji kompetensi. Syarat jabatan kerja operator *bulldozer* (SKKNI, 2005), operator *launching girder* (SKKNI, 2015a), operator mesin *bore pile* (SKKNI, 2015b), dan operator *dump truck* (SKKNI, 2015c), yaitu: pendidikan minimal SLTA atau sederajat, pengalaman kerja 2.000 – 5.000 jam untuk operator *bulldozer*, pengalaman kerja 2 tahun untuk operator *launching girder*, pengalaman kerja minimal 2.000 jam untuk operator mesin *bore pile*, pengalaman kerja minimal 1.000 jam untuk operator *dump truck*, memiliki sertifikat kompetensi operator, dan mampu berbahasa Indonesia dengan baik dan benar. Secara khusus syarat jabatan kerja operator *HSPD* belum ada, namun dapat mengacu pada syarat-syarat operator alat berat lain, utamanya yaitu: memiliki pengalaman kerja 1.000 – 5.000 jam dan memiliki sertifikat kompetensi operator *HSPD*.

Operator yang memiliki kompetensi lalu menjalankan tugas sesuai kompetensinya, maka akan menghasilkan sasaran dan tujuan tugas pekerjaan tertentu yang dapat diukur dengan indikator sebagai berikut: dalam kondisi tertentu, mampu dan mau melakukan suatu pekerjaan, sesuai volume dan dimensi yang ditentukan,

dengan kualitas sesuai standard dan mutu/spesifikasi, selesai dalam tempo yang ditentukan (SKKNI, 2009). Berdasar indikator pengukuran kompetensi operator tersebut, dimungkin terjadi perubahan volume dan dimensi yang dihasilkan yang disebabkan oleh faktor-faktor internal dan eksternal. Faktor internal yang mempengaruhi, antara lain: kondisi psikologis operator, kondisi kesehatan saat bekerja, dan semangat kerja operator. Faktor eksternal yang mempengaruhi, antara lain: kondisi lokasi pekerjaan, kondisi manajemen, dan kondisi cuaca. Faktor-faktor tersebut dapat berubah-ubah, sehingga sumberdaya manusia menjadi variabel yang menentukan produktivitas *HSPD*.

Uraian variabel-variabel di atas memberikan pemahaman bahwa terdapat beberapa variabel yang mempengaruhi produktivitas *HSPD*, namun tidak semuanya dapat dipertimbangkan dalam satu penelitian. Variabel-variabel yang mungkin dipertimbangkan langsung adalah: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, dan waktu aktivitas pemancangan atau waktu siklus. Variabel yang lainnya tidak dipertimbangkan secara langsung, namun diwakili dengan faktor koreksi atau dengan asumsi-asumsi tertentu.

Ukuran penampang tiang mempengaruhi besarnya gaya dukung ujung tiang (P_p) dan gaya gesek dinding tiang (P_s). Makin besar P_p dan P_s maka makin besar pula perlawanan terhadap gaya dari atas ($P_A + w_a + w_R$), sehingga kecepatan penetrasinya menurun yang mengakibatkan waktu tekan makin lama. Hal ini mengakibatkan perbedaan produktivitas bila digunakan ukuran penampang tiang yang berbeda.

Pemancangan dilakukan untuk mendapatkan daya dukung yang diinginkan pada kedalaman tertentu. Kedalaman pemancangan tergantung kondisi tanah, pada kondisi tanah yang sama, maka makin dalam kedalaman pemancangan akan memerlukan segmen kedalaman yang makin banyak, sehingga waktu tekan lebih lama. Hal ini menunjukkan bahwa kedalaman pemancangan mempengaruhi produktivitas *HSPD*.

Penggunaan panjang tiang pancang yang tidak sama dengan kedalaman pemancangan membutuhkan aktivitas pengelasan untuk penyambungan. Waktu pengelasan mempengaruhi besarnya waktu siklus untuk mencapai kedalaman pemancangan yang diinginkan. Makin banyak aktivitas pengelasan, maka makin besar waktu siklus yang diperlukan, sehingga perbedaan waktu siklus akan mempengaruhi produktivitas *HSPD*. Kendala dalam tanah yang tidak terduga juga berdampak pada waktu tekan yang diperlukan.

Jarak antar tiang pancang dalam 1 *pile cap* relatif sama, sehingga waktu pindah alat antar tiang pancang juga relatif sama, sedangkan jarak antar *pile caps* atau pola pemancangan dapat berbeda, sehingga mengakibatkan waktu pindah alat berbeda. Perbedaan waktu pindah alat antar *pile caps* dengan antar tiang pancang cukup signifikan, sehingga mempengaruhi produktivitas *HSPD*. Oleh karena itu, peninjauan pemancangan hanya dalam satu *pile cap*.

Sistem pondasi tiang pancang dapat dilaksanakan dengan berbagai alat pancang melalui metode pukulan, getaran, dan tekanan. Masing-masing alat memiliki karakteristik tersendiri, sehingga produktivitasnya juga akan berbeda. Pemancangan dengan *HSPD* menggunakan metode tekanan, memiliki keterbatasan dan keunggulan tersendiri. *HSPD* juga memiliki beberapa seri yang tidak memungkinkan untuk diteliti semuanya, sehingga hanya satu seri *HSPD* yang diteliti, yaitu *HSPD ZYC 120*.

Sumberdaya manusia, khususnya operator mempengaruhi besarnya produktivitas. Masing-masing operator memiliki keterampilan dan semangat yang berbeda-beda, sehingga memungkinkan mengoperasikan alat dengan hasil yang tidak sesuai standar. Pengaruh faktor internal dan eksternal sulit diteliti secara detail, sehingga variabel sumberdaya manusia dapat diwakili dengan faktor koreksi berdasar tabel-tabel yang umum digunakan.

Uraian di atas menunjukkan bahwa variabel-variabel produktivitas *HSPD* menentukan besarnya produktivitas *HSPD*. Produktivitas *HSPD* yang tinggi dipengaruhi oleh:

- 1) Ukuran tiang pancang

Penggunaan panjang tiang pancang yang sesuai dengan kedalaman pemancangan akan memperkecil waktu siklus, karena panjang tiang mempengaruhi banyaknya sambungan, sehingga produktivitas makin tinggi. Dimensi penampang mempengaruhi kecepatan penetrasi tiang ke dalam tanah, makin luas penampang tiang maka makin besar waktu yang diperlukan. Oleh karena itu, produktivitas dikelompokkan terhadap ukuran tiang pancang. Hal-hal yang berkaitan dengan mutu beton, proses pengiriman, dan penyimpanan diabaikan, karena hal ini sudah diatur sedemikian rupa sehingga tidak mempengaruhi kelancaran proses pemancangan.

- 2) Jenis tanah

Kondisi alam pada masing-masing lokasi dimungkinkan memiliki daya dukung tanah yang berbeda. Makin besar daya dukung tanah maka kecepatan penetrasi akan makin lambat, sehingga produktivitas akan makin kecil. Jenis tanah yang sama cenderung memiliki daya dukung tanah yang hampir sama. Oleh karena itu, produktivitas dapat dikelompokkan pada masing-masing jenis tanah. Penentuan jenis tanah mengacu pada jenis tanah yang dominan pada suatu kedalaman pemancangan.

3) Kedalaman pemancangan

Pemancangan dapat dilakukan dengan sistem *end bearing* atau *friction pile* tergantung kondisi tanah dan hasil perencanaan. Letak daya dukung tanah yang mampu menahan beban konstruksi bervariasi kedalamannya. Makin dangkal kedalaman pemancangan, pada suatu kondisi tanah yang dipancang menggunakan suatu ukuran tiang pancang, maka produktivitas makin tinggi. Oleh karena itu, produktivitas dikelompokkan terhadap kedalaman pemancangan.

4) Waktu siklus

Waktu siklus dipengaruhi oleh banyaknya aktivitas pemancangan. Banyaknya aktivitas pemancangan, pada suatu kedalaman pemancangan dan suatu kondisi tanah, dipengaruhi oleh panjang tiang pancang yang digunakan. Makin sedikit aktivitas pemancangan, maka makin kecil waktu siklusnya, sehingga produktivitas makin tinggi. Oleh karena itu, penggunaan panjang tiang pancang harus diatur sedemikian rupa untuk menghindari adanya pemotongan sisa tiang, sehingga diperoleh waktu siklus terpendek.

5) Pola pemancangan atau sistem kepala tiang

Pola pemancangan dalam hal ini berkaitan dengan jarak antar *pile caps*, makin kecil jarak antar *pile caps*, maka produktivitas meningkat. Pola pemancangan bangunan gedung menggunakan *pile caps* yang terpisah. Jarak titik pancang dalam 1 *pile cap* cukup konstan, sedangkan jarak antar *pile caps* bervariasi, maka data dipisahkan antara keduanya. Kelebihan waktu pindah alat antar *pile caps* diperhitungkan untuk penyelesaian pekerjaan.

6) Sumberdaya manusia

Sumberdaya manusia yang kompeten pengetahuan dan keterampilan serta memiliki etos kerja yang tinggi akan mempengaruhi besarnya produktivitas. Dukungan

manajemen yang baik, kondisi lapangan yang stabil, dan cuaca yang kondusif diperlukan untuk mengoptimalkan kerja operator dan mesin.

2.8 Road Map Penelitian

Road map (peta jalur) penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan alur pemikiran penelitian guna mencapai tujuan. Peta jalur penelitian juga berguna untuk menunjukkan bagaimana cara mencapai tujuan penelitian, menunjukkan di mana posisi penelitian ini, dan menunjukkan apa yang ditemukan. Bagian ini akan menguraikan: penelitian terdahulu tentang produktivitas pemancangan dan penelitian terdahulu tentang pemodelan produktivitas peralatan.

2.8.1 Penelitian Terdahulu Tentang Produktivitas Pemancangan Menggunakan Alat HSPD

Penelitian produktivitas alat pancang masih terbatas. Penelitian Wenas dan Gendo (2010) bertujuan untuk mengukur produktivitas alat pancang *jack-in pile* tipe HSPD seri ZYJ tipe 120. Penelitian dilakukan dengan metode observasi pada pekerjaan bangunan gedung *Showroom* di Surabaya. Banyaknya data yang dikumpulkan sebanyak 98 data dalam waktu 9 hari. Pola pemancangan menggunakan pola *pile caps* bangunan gedung. Pemancangan tiang pancang *mini pile* 25 x 25 cm yang dipancangan sampai kedalaman 12 m dengan 1 sambungan pada tanah lempung. Hasil penelitian menunjukkan nilai produktivitas antara 0,750 – 0,536 m/menit, rata-rata produktivitas 0,663 m/menit.

Penelitian Sumito dan Antonioes (2009) bertujuan untuk mengukur produktivitas alat pancang *jack-in pile* tipe HSPD seri ZYJ tipe 320 dan tipe *crawler* kapasitas 40 ton. Penelitian dilakukan dengan metode observasi pada Proyek Apartemen di Surabaya untuk alat pancang HSPD seri ZYJ tipe 320 dan diperoleh 35 data dalam waktu 5 hari. Pemancangan tiang pancang beton *spun pile* berdiameter 50 cm yang dipancangan sampai kedalaman 26 m dengan 1 sambungan pada tanah lempung. Sedangkan alat pancang tipe *crawler* digunakan pada Proyek Gudang Alfamart di Surabaya dan diperoleh 208 data dalam 10 hari. Pemancangan tiang pancang beton *mini pile* 20 x 20 cm dan 25 x 25 cm sampai kedalaman 7 m tanpa sambungan pada tanah lempung. Pola pemancangan menggunakan pola *pile caps* bangunan gedung. Hasil penelitian alat pancang tipe HSPD seri ZYJ tipe 320 menunjukkan nilai

produktivitas antara 0,509 – 0,406 m/menit, sedangkan alat tipe *crawler* menunjukkan nilai produktivitas 1,312 – 1,025 m/menit.

Penelitian produktivitas jenis alat pancang yang lain dilakukan oleh Tigor (2011) bertujuan untuk mengetahui produktivitas pemancangan tiang pancang dengan alat jenis *impacting hammer* tipe *diesel hammer*. Penelitian dilakukan dengan metode observasi pada Proyek Apartemen *City View* Medan Polonia di Medan. Hasil penelitian menunjukkan nilai produktivitas alat antara 0,634 – 0,574 m/menit. Produktivitas ini dipengaruhi oleh kegiatan merokok/mengobrol sebesar 59,09% dan faktor letak tiang, pengisian bahan bakar, perbaikan alat, dan diskusi dengan nilai masing-masing sebesar 4,55%.

Penelitian Sumito dan Antonioes (2009), Wenas dan Gendo (2010), dan Tigor (2011) menunjukkan nilai produktivitas yang berbeda-beda dan berupa sebuah angka produktivitas alat pancang pada lokasi yang diteliti. Perbedaan tersebut disebabkan oleh: jenis dan kapasitas alat pancang, jenis dan ukuran tiang pancang, dan kedalaman pemancangan. Perbedaan hal-hal tersebut menyebabkan perbedaan produktivitas, oleh karena itu variasi hal-hal tersebut perlu dilakukan untuk mendapatkan nilai produktivitas pada berbagai kondisi. Selain itu belum ditinjau waktu aktivitas pemancangan atau waktu siklus dan jarak antar *pile caps* atau pola pemancangan secara detail. Perbedaan waktu siklus dipengaruhi juga oleh perbedaan banyaknya aktivitas pemancangan yang disebabkan oleh ukuran panjang tiang yang digunakan. Pola pemancangan masing-masing lokasi dapat berbeda tergantung perencanaan oleh karena itu perlu dikaji secara tersendiri pengaruhnya.

Peninjauan produktivitas dilakukan dengan rata-rata durasi waktu pelaksanaan pekerjaan tiap hari aktivitas alat bukan berdasar rata-rata masing-masing aktivitas alat tiap siklus pekerjaan yang dianalisis secara statistik untuk menghitung produktivitas. Hal ini menyulitkan koreksi data apabila terjadi perbedaan waktu durasi yang signifikan. Perbedaan waktu durasi dapat disebabkan oleh kendala-kendala yang mungkin terjadi saat aktivitas pemancangan, misalnya perawatan atau perbaikan alat dan aktivitas pekerja yang kurang efektif. Kendala-kendala tersebut dapat diperbaiki melalui pengolahan data lebih lanjut dan menerapkan faktor koreksi efisiensi kerja. Selain itu pencatatan data sebaiknya menggunakan format studi waktu untuk memudahkan koreksi data apabila terjadi perbedaan yang signifikan serta menganalisis penyebab terjadinya penyimpangan.

2.8.2 Penelitian Terdahulu Tentang Pemodelan Produktivitas Bor Pile

Penelitian Zayed *and* Halpin (2004a) bertujuan untuk menyediakan perangkat untuk menaksir produktivitas proses tiang bor menggunakan simulasi. Penelitian dilakukan dengan metode survai untuk mendapatkan sejumlah data melalui kuesioner, kunjungan lokasi dan wawancara, serta panggilan telepon kepada konsultan dan kontraktor yang spesialis pada konstruksi dan perencanaan tiang bor di Amerika. Hasil penelitian berupa model simulasi *MicroCYCLONE* untuk menaksir produktivitas. Masukan modelnya adalah: ukuran tiang, tipe tanah, kedalaman tiang, metode konstruksi, dan tinggi bor. *Productivity Index (PI)* digunakan untuk menyesuaikan produktivitas hasil simulasi dengan kenyataan praktek lapangan menggunakan Persamaan (2.28) sehingga diperoleh produktivitas estimasi. Grafik produktivitas estimasi proses tiang bor ϕ 0,46 m pada tanah lempung menggunakan metode basah dan kering ditunjukkan dalam Gambar 2-21. Hasil validasi menunjukkan bahwa 79% keluaran model mempunyai keakuratan 75%.

$$EP = S.WH.PI \text{ (lubang/hari)} \quad (2.28)$$

di mana:

EP = produktivitas estimasi (lubang/hari)

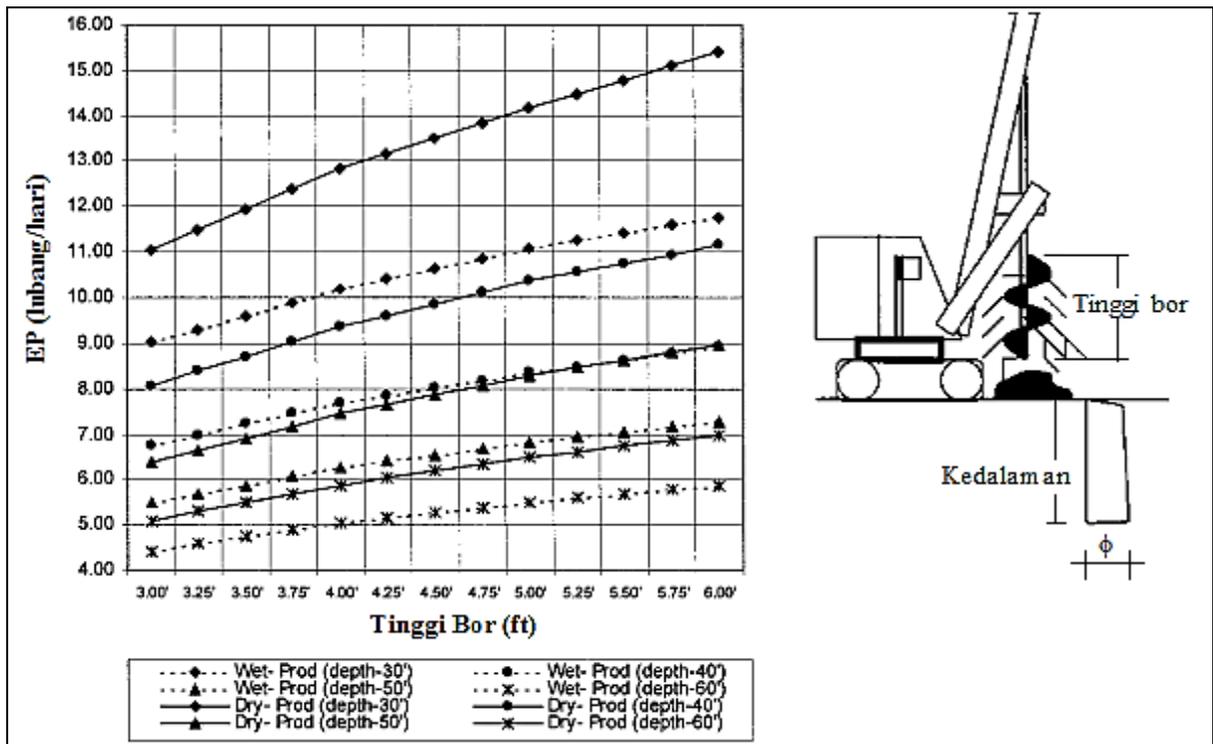
PI = *Productivity Index* = 0,7

S = produktivitas hasil simulasi (lubang/jam)

WH = jam kerja per hari (jam/hari)

Gambar 2-21 menunjukkan EP proses tiang bor ϕ -0,46 m pada tanah lempung terhadap tinggi bor 3 ft sampai 6 ft. Terdapat 8 grafik produktivitas yang terdiri dari 4 grafik pada metode konstruksi basah dan 4 grafik pada metode konstruksi kering. Masing-masing metode konstruksi diberikan nilai produktivitas untuk kedalaman tiang bor 30 ft, 40 ft, 50 ft, dan 60 ft.

Penelitian Zayed *and* Halpin (2005a) bertujuan untuk menerapkan *ANN* (*Artificial Neural Network*) untuk menaksir produktivitas konstruksi tiang bor. Hasil penelitian berupa model *ANN* untuk menaksir produktivitas proses tiang bor. Metode penelitian, cara memperoleh data, variabel-variabel yang digunakan, dan bentuk hasil akhir model sama dengan Zayed *and* Halpin (2004a). Model dibangun dengan 70% data dan 30% data untuk proses validasi. Validasi model menunjukkan 83% keluaran model sebesar 90% akurat.



Gambar 2-21. EP Tiang Bor ϕ -0,46 m Pada Tanah Lempung (Zayed and Halpin, 2004a)

Penelitian Zayed and Halpin (2005c) bertujuan untuk menaksir produktivitas proses tiang bor dengan model regresi. Hasil penelitian berupa model regresi untuk menaksir produktivitas proses tiang bor. Metode penelitian, cara memperoleh data, variabel-variabel yang digunakan, dan bentuk hasil akhir model sama dengan Zayed and Halpin (2004a). Model dibangun dengan 70% data dan 30% data untuk proses validasi. Validasi model menunjukkan 83% keluaran model sebesar 90% akurat. Produktivitas proses tiang bor pada berbagai kedalaman pengeboran dan ukuran tinggi bor untuk ukuran tiang bor ϕ -0,46 m dalam tanah lempung menggunakan metode basah ditunjukkan dalam Persamaan (2.29).

$$EP = 8.4174 - 0.0766 X_1 + 0.8347 X_2 \quad (2.29)$$

di mana:

EP : produktivitas estimasi (lubang/hari)

X_1 : kedalaman pengeboran (ft)

X_2 : ukuran tinggi bor (ft)

Penelitian Zayed and Halpin (2005b) bertujuan untuk menyediakan perangkat untuk menaksir produktivitas proses tiang bor menggunakan teknik analisis deterministik (konvensional) atau analitis. Hasil penelitian berupa model deterministik

untuk menaksir produktivitas proses tiang bor. Metode penelitian, cara memperoleh data, variabel-variabel yang digunakan, dan bentuk hasil akhir model sama dengan Zayed and Halpin (2004a). Hasil model produktivitas diperhalus dengan nilai PI yang dihitung dengan Persamaan (2.30). Grafik perkiraan produktivitas proses tiang bor ϕ 0,46 m pada tanah lempung ditunjukkan dalam Gambar 2-22. Validasi model deterministik menunjukkan bahwa 79% keluaran model sebesar 75% akurat.

$$EP = \frac{60}{TD} \cdot WH \cdot PI \quad (2.30)$$

di mana:

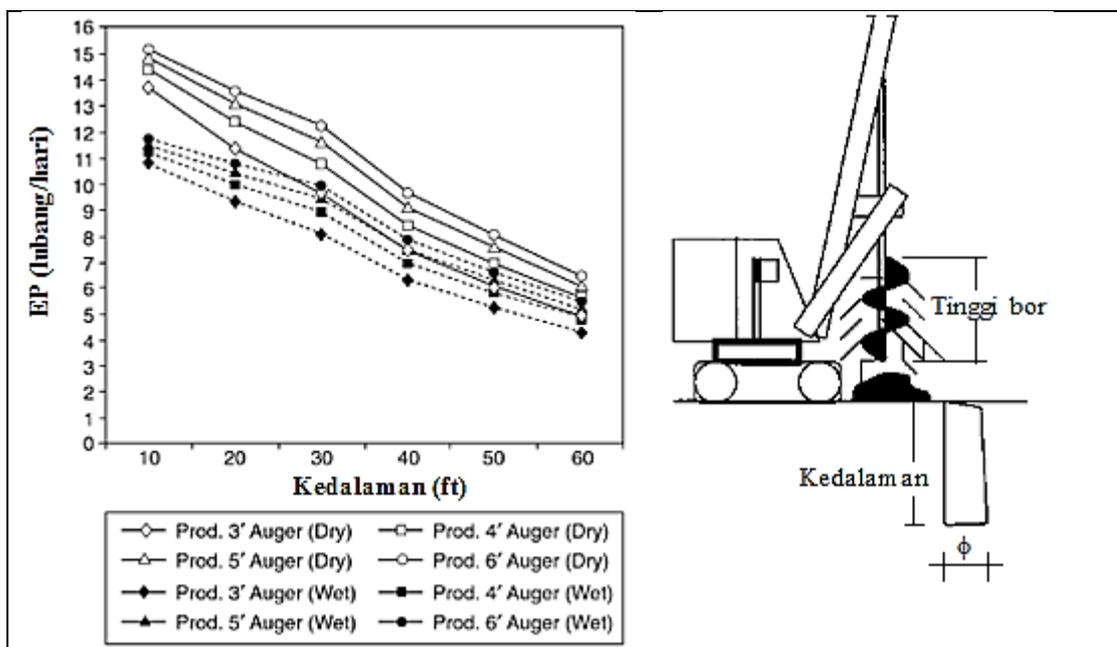
EP : produktivitas estimasi (lubang/hari)

PI : *Productivity Index* = 0,7

TD : total durasi untuk mendirikan tiang bor (menit).

WH : jam kerja per hari (jam/hari)

Gambar 2-22 menunjukkan EP proses tiang bor ϕ -0,46 m pada tanah lempung terhadap kedalaman tiang bor 10 ft sampai 60 ft. Terdapat 8 grafik produktivitas yang terdiri dari 4 grafik pada metode konstruksi basah dan 4 grafik pada metode konstruksi kering. Masing-masing metode konstruksi diberikan nilai produktivitas untuk tinggi bor 3 ft, 4 ft, 5 ft, dan 6 ft.



Gambar 2-22. EP Tiang Bor ϕ -0,46 m Pada Tanah Lempung (Zayed and Halpin, 2005b)

Penelitian Zayed (2005) bertujuan untuk menaksir produktivitas tiang *CFA* (*Continuous Flight Auger*) dengan pendekatan deterministik. Hasil penelitian berupa model deterministik untuk menaksir produktivitas proses tiang *CFA*. Cara memperoleh data, variabel-variabel yang digunakan, dan bentuk hasil akhir model sama dengan Zayed and Halpin (2004a). Digunakan nilai $PI = 0,78$. Produktivitas estimasi dihitung dengan Persamaan (2.31). Hasil validasi menunjukkan nilai rata-rata 1,03 dan standar deviasi 0,07.

$$EP = \frac{60}{TMT} WH \cdot PI \quad (2.31)$$

di mana:

EP : produktivitas estimasi (lubang/hari)

PI : *Productivity Index* = 0,78

TMT : total waktu mesin untuk mendirikan tiang *CFA* (menit)

WH : jam kerja per hari (jam/hari) Penelitian Zayed and Halpin (2004b) membandingkan hasil model simulasi, deterministik, *ANN*, dan regresi. Metode *RR* (*Rank Reversal*) merupakan bagian metode *AHP* digunakan untuk merangking keempat model. Rangking model berturut-turut adalah *ANN* dengan deviasi 18,66%, model regresi dengan deviasi 18,84%, model simulasi dengan deviasi 27,57%, dan model deterministik dengan deviasi 34,89%. Model *ANN* dan regresi memberikan prediksi terdekat dengan kenyataan. Selanjutnya model tersebut diuji sensitivitasnya dengan merubah masukan model. Uji sensitivitas menunjukkan bahwa model *ANN* dan regresi lebih konsisten.

Produktivitas alat pondasi dalam dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu produktivitas alat pondasi tiang bor dan produktivitas alat pondasi tiang pancang. Pemodelan produktivitas alat pondasi tiang bor telah dilakukan dengan simulasi *MycroCyclone*, deterministik, *ANN*, dan regresi. Pemodelan tersebut menunjukkan hasil yang memuaskan dan dapat digunakan oleh pengambil keputusan di bidangnya untuk membuat perencanaan pekerjaan. Oleh karena itu, model-model tersebut dapat dijadikan contoh untuk penyusunan model produktivitas *HSPD* sebagai alat pancang. Penelitian-penelitian yang telah dipaparkan di atas disarikan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Penelitian Terdahulu Tentang Produktivitas Pemancangan Menggunakan Alat *HSPD* Dan Pemodelan Produktivitas *Bore Pile*

No	Peneliti, Tahun and Penerbit	Judul	Hasil	Tujuan
1	Wenas, A. dan Gendo, R. 2010. <i>Skripsi</i> , S1, Universitas Kristen Petra Surabaya.	Produktivitas Pemancangan Tiang Pancang Dengan <i>Jack-In Pile</i> Pada Proyek <i>Showroom</i>	Penelitian menggunakan metode observasi dan data durasi waktu dianalisis menggunakan metode <i>statistic non-parametric</i> . Produktivitas alat <i>jack-in pile type hydraulic static pile driver ZYJ 120</i> sebesar 0,6634 m/menit untuk memancang <i>mini pile 25x25 cm</i> sampai kedalaman pemancangan 12 m dengan 1 sambungan tiang.	Mengukur produktivitas alat pancang <i>jack-in pile type hydraulic static pile driver Sunwad ZYJ 120</i> .
2	Sumito, P. N. dan Antonioes, P. G. 2009. <i>Skripsi</i> , S1, Universitas Kristen Petra Surabaya.	Studi Awal Produktivitas Alat Pancang <i>Jack-In Pile</i>	Penelitian menggunakan metode observasi dan data durasi waktu dianalisis menggunakan metode <i>statistic non-parametric</i> . Produktivitas alat <i>Jack-In Pile type Hydraulic Static Pile Driver ZYJ 320</i> sebesar 0,509 – 0,406 m/menit untuk memancang <i>spun pile</i> diameter 50 cm sampai kedalaman 26 m dengan 1 sambungan tiang. Sedangkan produktivitas alat <i>Jack-In Pile type Crawler</i> kapasitas 40 ton sebesar 1,312 – 1,025 m/menit untuk memancang <i>mini pile 20x20 cm</i> dan <i>25x25 cm</i> sampai kedalaman pemancangan 7 m tanpa sambungan tiang.	Mengukur produktivitas alat pancang <i>jack-in pile type hydraulic static pile driver Sunwad ZYJ 320</i> dan tipe <i>crawler</i> .
3	Tigor, E. A. 2011. <i>Skripsi</i> , S1, Universitas Sumatera Utara.	Analisis Produktivitas Proses Pemasangan Tiang Pancang	Penelitian menggunakan metode observasi dan data durasi waktu dianalisis menggunakan metode <i>statistic non-parametric</i> . Produktivitas alat jenis <i>impacting hammer type diesel hammer</i> antara 0,634 – 0,574 m/menit.	Mengetahui produktivitas pemancangan tiang pancang dengan alat jenis <i>impacting hammer type diesel hammer</i> .
4	Zayed, T. M. and Halpin, D. W. 2004a. <i>Journal of Construction Engineering and Management</i> , ASCE, Vol.130, No.3: 394-404.	<i>Simulation as a Tool for Pile Productivity Assessment</i>	Penelitian menggunakan metode survai. Data dikumpulkan menggunakan kuesioner, kunjungan lokasi dan wawancara, serta panggilan telepon. Memodelkan produktivitas proses tiang bor dengan simulasi <i>MicroCyclone</i> berdasar data-data: ukuran tiang, tipe tanah, kedalaman tiang, sistem penuangan beton, dan tinggi bor. Validitas model: 79% keluaran model mempunyai keakuratan 75%.	Menyediakan perangkat untuk menaksir produktivitas proses tiang bor menggunakan simulasi.

Tabel 2.8. Penelitian Terdahulu Tentang Produktivitas Pemancangan Menggunakan Alat *HSPD* Dan Pemodelan Produktivitas *Bore Pile* (Lanjutan)

No	Peneliti, Tahun and Penerbit	Judul	Hasil	Tujuan
5	Zayed, T. M. and Halpin, D. W. 2005a. <i>Journal of Construction Engineering and Management</i> , ASCE, Vol.131, No.6: 705-714.	<i>Pile Construction Productivity Assessment</i>	Penelitian menggunakan metode survai. Data dikumpulkan menggunakan kuesioner, kunjungan lokasi dan wawancara, serta panggilan telepon. Memodelkan produktivitas proses tiang bor dengan <i>ANN</i> berdasar data-data: ukuran tiang, tipe tanah, kedalaman tiang, sistem penuangan beton, dan tinggi bor. Validasi model <i>ANN</i> : 90% keluaran model mempunyai keakuratan 75%.	Menerapkan <i>ANN</i> untuk menaksir produktivitas konstruksi tiang bor.
6	Zayed, T. M. and Halpin, D. W. 2005c. <i>Journal of Construction Engineering and Management</i> , ASCE, Vol.131, No.7: 779-789.	<i>Productivity and Cost Regression Models for Pile Construction</i>	Penelitian menggunakan metode survai. Data dikumpulkan menggunakan kuesioner, kunjungan lokasi dan wawancara, serta panggilan telepon. Memodelkan produktivitas proses tiang bor dengan regresi berdasar data-data: ukuran tiang, tipe tanah, kedalaman tiang, sistem penuangan beton, dan tinggi bor. Validasi model: 83% keluaran model dan keakuratan 90%.	Menaksir produktivitas proses tiang bor dengan model regresi.
7	Zayed, T. M. and Halpin, D. W. 2005b. <i>Journal of Construction Management and Economics (June 2005)</i> 23: 531-543.	<i>Deterministic Models for Assessing Productivity and Cost of Bored Pile</i>	Penelitian menggunakan metode survai. Data dikumpulkan menggunakan kuesioner, kunjungan lokasi dan wawancara, serta panggilan telepon. Memodelkan produktivitas proses tiang bor dengan teknik analisis deterministik berdasar data-data: ukuran tiang, tipe tanah, kedalaman tiang, sistem penuangan beton, dan tinggi bor. Validasi model: 79% keluaran dengan keakuratan 75%.	Menyediakan perangkat untuk menaksir produktivitas proses tiang bor menggunakan teknik analisis deterministik.
8	Zayed, T. M. 2005. <i>Journal of Construction Engineering and Management</i> , ASCE, Vol.131, No.6: 677-688.	<i>Productivity and Cost Assessment for Continuous Flight Auger Piles</i>	Penelitian menggunakan metode survai. Data dikumpulkan menggunakan kuesioner, kunjungan lokasi dan wawancara, serta panggilan telepon. Memodelkan produktivitas proses tiang bor dengan teknik analisis deterministik berdasar data-data: ukuran tiang, tipe tanah, kedalaman tiang, sistem penuangan beton, dan tinggi bor. Validasi model deterministik: rata-rata $VF = 1.03$ dan $SD = 0.07$.	Menaksir produktivitas tiang <i>CFA (Continuous Flight Auger)</i> dengan pendekatan deterministik.

Tabel 2.8. Penelitian Terdahulu Tentang Produktivitas Pemancangan Menggunakan Alat *HSPD* Dan Pemodelan Produktivitas *Bore Pile* (Lanjutan)

No	Peneliti, Tahun and Penerbit	Judul	Hasil	Tujuan
9	Zayed, T. M. and Halpin, D. W. 2004b. <i>Journal of Construction Engineering and Management</i> , ASCE, Vol.130, No.4: 490-499.	<i>Process versus Data Oriented Techniques in Pile Construction Productivity Assessment</i>	Penelitian menggunakan metode survai. Data dikumpulkan menggunakan kuesioner, kunjungan lokasi dan wawancara, serta panggilan telepon. Memodelkan produktivitas proses tiang bor dengan teknik analisis deterministik, simulasi, regresi dan <i>ANN</i> berdasar data-data: ukuran tiang, tipe tanah, kedalaman tiang, sistem penuangan beton, dan tinggi bor. Metode <i>RR (Rank Reversal)</i> digunakan untuk membandingkan hasil 4 teknik tersebut. Hasil perbandingan: <i>ANN</i> dengan deviasi 18.66%, regresi dengan deviasi 18.84%, simulasi dengan deviasi 27.57% dan deterministik dengan deviasi 34.89%. <i>ANN</i> dianggap sebagai model terbaik.	Menganalisis proses tiang bor menggunakan teknik deterministik, simulasi, regresi dan <i>ANN</i> . Membandingkan hasil teknik-teknik tersebut dan memilih teknik yang terbaik.

2.9 Rangkuman dan Arahan Penelitian

HSPD merupakan salah satu alat pancang yang menggunakan sistem *jack-in pile* yaitu pemancangan tiang pancang dengan menekan masuk tiang ke dalam tanah menggunakan beban statis dongkrak hidrolis yang menggunakan imbang berat. *HSPD* banyak digunakan diperkotaan karena alat ini memiliki kelebihan yaitu tidak gaduh, tidak ada getaran, sedikit polusi, tidak meninggalkan sampah di lokasi, hemat energi, dan cocok pada kondisi: lapisan lempung, tanah lunak, dan pasir.

Pelaksanaan pekerjaan pemancangan biasanya dibatasi oleh waktu dan biaya. Oleh karena itu perlu diperhatikan produktivitas alat yang digunakan karena produktivitas merupakan tolok ukur keberhasilan proyek konstruksi. Produktivitas *HSPD* dapat dimengerti sebagai sejumlah unit produk yang dihasilkan tiap jam, tiap hari, atau periode waktu lainnya. Terdapat 3 tipe produktivitas yaitu: *Ideal Productivity (IP)*, *Actual Productivity (AP)*, dan *Obtainable Productivity (OP)* dengan hubungan $IP > OP > AP$. Pada level proyek di lapangan, *IP* tidak dapat dicapai langsung, *AP* dapat diukur langsung, sedangkan *OP* mungkin dapat dicapai melalui upaya peningkatan *AP* dengan meminimalkan faktor penghambat produktivitas yang dapat dikontrol (*C-RF*), misalnya: pemeliharaan mesin, kondisi operasi, waktu kerja, dan keterampilan operator.

Produktivitas dipengaruhi oleh faktor utama dan faktor pengganggu. Faktor utama meliputi: sumberdaya manusia (operator dan pekerja), ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, waktu siklus, dan pola pemancangan. Faktor pengganggu dipisahkan menjadi 2, yaitu:

- 1) Faktor pengganggu yang dapat dikontrol, meliputi: kemampuan manajerial, peraturan keselamatan kerja, kondisi mesin, rencana titik-titik pemancangan, rencana kerja, dan kesetiaan pekerja.
- 2) Faktor pengganggu yang tidak dapat dikontrol, meliputi: kondisi cuaca, kendala dalam tanah, dan kondisi lapangan.

Faktor pengganggu yang dapat dikontrol dapat dikendalikan sebelum pelaksanaan pekerjaan, sehingga diabaikan pengaruhnya. Faktor pengganggu yang tidak dapat dikontrol dan faktor utama sumberdaya manusia sulit diukur secara rinci, sehingga dapat diwakili dengan faktor efisiensi kerja. Dengan demikian faktor utama yang dipertimbangkan sebagai faktor yang dominan mempengaruhi produktivitas

HSPD adalah: ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, waktu aktivitas pemancangan atau waktu siklus, dan pola pemancangan. Namun bagaimana faktor-faktor tersebut memberikan pengaruh terhadap produktivitas perlu dikaji lebih jauh. Faktor-faktor yang berpengaruh perlu dianalisis, sehingga kontribusinya dapat dipahami. Selain itu dapat dilakukan koreksi terhadapnya untuk meningkatkan produktivitas guna bersaing dalam bisnis.

Perhitungan produktivitas *HSPD* memerlukan data waktu aktivitas pemancangan pada berbagai kondisi lapangan yang dapat dilakukan menggunakan *time study*. Data-data yang dikumpulkan melalui observasi dapat digunakan untuk estimasi produktivitas menggunakan beberapa metode yaitu: deterministik atau analitis, simulasi, analisis statistik menggunakan regresi dan *ANN*. Estimasi produktivitas terhadap kedalaman pemancangan dapat dikelompokkan terhadap ukuran penampang tiang pancang. Pengaruh pola pemancangan dipertimbangkan untuk menentukan kebutuhan waktu penyelesaian pekerjaan secara keseluruhan dalam suatu lokasi pekerjaan. Penelitian baru perlu dilakukan untuk mendapatkan estimasi produktivitas *HSPD* tersebut.

Posisi penelitian ini dapat dibandingkan dengan beberapa penelitian yang sudah ada sebagaimana disarikan pada Tabel 2.8. Penelitian produktivitas pemancangan yang sudah dilakukan mengkaji produktivitas alat pancang dan faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitasnya. Kesimpulan yang dihasilkan berupa nilai produktivitas alat pancang tertentu pada lokasi tertentu dan faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas. Kekurangan penelitian tersebut adalah: hasil penelitian tidak dapat diaplikasikan pada lokasi lain yang memiliki karakteristik pekerjaan yang berbeda dan analisisnya belum mempertimbangkan variasi variabel-variabel produktivitas serta pola pemancangan di mana masing-masing desain jarak *pile caps* dapat berbeda-beda.

Penelitian produktivitas pondasi dalam lainnya mengkaji pemodelan produktivitas alat bor pondasi tiang bor. Kesimpulan yang dihasilkan berupa model-model untuk menaksir produktivitas alat bor. Model-model tersebut menghasilkan grafik produktivitas yang dapat digunakan untuk membuat perencanaan pada pekerjaan berikutnya. Kekurangan penelitian tersebut adalah data yang dikumpulkan bersifat subyektif sehingga tidak mewakili kondisi sebenarnya, akan lebih baik jika menggunakan data observasi.

Kekurangan-kekurangan penelitian sebelumnya tersebut perlu ditindaklanjuti dengan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih bermanfaat. Penelitian produktivitas *HSPD* masih sangat terbatas, sehingga hasil yang diberikan kurang aplikatif, sedangkan penelitian produktivitas alat bor sebagai salah satu pondasi dalam sudah cukup kompleks dan menghasilkan grafik produktivitas proses tiang bor yang bermanfaat untuk estimasi produktivitas. Oleh karena itu, perlu dikombinasikan antara kedua kelompok penelitian tersebut melalui penelitian ini, sehingga diperoleh grafik produktivitas *HSPD* yang aplikatif. Posisi penelitian ini terhadap penelitian-penelitian lain dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Posisi Penelitian Pengembangan Model Produktivitas *HSPD*

Th.	Metode	Analisis	Alat	Variabel				
2004-2005	Survai	Deterministik Simulasi <i>ANN</i> Regresi	<i>Bore Pile</i>	Ukuran tiang	Jenis tanah	Kedalaman tiang bor	Tinggi bor	Metode konstruksi
2005	Survai	Deterministik	<i>CFA Pile</i>					
2009	Observasi	Statistik non parametrik	<i>HSPD</i>				Waktu siklus	
2010								
Sekarang	Observasi	Deterministik /Analitis Simulasi <i>ANN</i> Regresi	<i>HSPD</i>	Ukuran tiang		Kedalaman pemancangan	Waktu siklus	Pola pemancangan

2.10 Kerangka Berpikir

Laju pertumbuhan perkotaan menyebabkan pertambahan skala dan banyaknya proyek konstruksi bangunan gedung dalam beberapa tahun terakhir. Banyak di antara proyek konstruksi yang dibangun melibatkan konstruksi pondasi dalam, termasuk pondasi tiang pancang. Terutama sekali daerah perkotaan yang padat penduduk, kebutuhan alat pancang yang ramah lingkungan seperti *hydraulic static pile driver (HSPD)* tidak dapat dihindari.

Realisasi proyek konstruksi infrastruktur dan gedung-gedung melibatkan kontraktor, khususnya kontraktor peralatan pemancangan. Kontraktor harus senantiasa mengetahui dan meningkatkan produktivitas alat agar dapat bersaing untuk mendapatkan proyek. Persaingan yang sehat dapat dibangun dengan meningkatkan kemampuan prediksi produktivitas. Dengan demikian, kontraktor dapat memperkirakan waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan. Sampai saat ini, acuan estimasi produktivitas

alat tersebut belum tersedia sehingga produktivitas pekerjaan belum dapat direncanakan secara akurat. Kontraktor pemancangan merencanakan produktivitas alat berdasar pengalaman mereka, sedangkan perencana atau estimator belum dapat melakukan perencanaan atau estimasi. Informasi mengenai produktivitas alat pemancangan sangat diperlukan oleh kontraktor dan perencana untuk mengestimasi waktu pelaksanaan pekerjaan.

Penelitian produktivitas *HSPD* masih sangat terbatas. Penelitian produktivitas *HSPD* melalui observasi yang sudah dilakukan masih terbatas pada tipe ZYJ 320 dan ZYJ 120. Penelitian produktivitas alat tipe tersebut juga masih terbatas pada kedalaman pemancangan tertentu dan dengan ukuran tiang pancang tertentu pula. Hasil penelitiannya berupa angka produktivitas yang berbeda-beda. Hal ini karena perbedaan jenis alat, ukuran tiang pancang, kedalaman pemancangan, waktu aktivitas pemancangan atau waktu siklus, dan pola pemancangan. Hasil penelitian itu belum dapat digunakan sebagai standar perencanaan, karena pada pekerjaan berikutnya kemungkinan memiliki karakteristik faktor produktivitas yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan penelitian produktivitas *HSPD* yang lebih komprehensif untuk menghasilkan grafik produktivitas dengan mempertimbangkan variasi faktor-faktor produktivitas.

Di sisi lain, telah dilakukan penelitian produktivitas alat bor pondasi dalam, dengan mempertimbangkan variasi faktor produktivitas yang mempengaruhinya. Pengumpulan datanya dilakukan dengan wawancara dan kuesioner kepada para ahli dibidangnya. Pengolahan datanya dilakukan dengan pemodelan, sehingga diperoleh hasil berbentuk grafik yang menunjukkan produktivitas alat pada berbagai kondisi yang mungkin terjadi. Pemodelannya dilakukan dengan 4 metode, yaitu: deterministik, simulasi, regresi, dan *Artificial Neural Network (ANN)*, sehingga dapat dipilih salah satu model sebagai model terbaik. Grafik produktivitas yang dihasilkan sangat aplikatif untuk digunakan sebagai perencanaan produktivitas pada pekerjaan berikutnya. Oleh karena itu, metode tersebut dapat dikembangkan untuk pemodelan produktivitas proses pemancangan sebagai salah satu pondasi dalam.

Uraian di atas, menunjukkan adanya kesenjangan antara kondisi yang sedang dihadapi dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Kesenjangan yang timbul adalah:

- 1) Penelitian *HSPD* terdahulu terbatas pada suatu lokasi dengan alat pancang dan kondisi tertentu, sehingga diperlukan data pada lokasi lain dengan tipe alat pancang

yang sama. Perlu juga ditambahkan kombinasi variabel-variabel produktivitas, sehingga diperoleh gambaran bentuk produktivitas yang lebih detail. Variabel-variabel produktivitas mencakup: ukuran tiang, kedalaman pemancangan, waktu siklus, dan pola pemancangan.

- 2) Hasil penelitian *HSPD* sebelumnya hanya menunjukkan sebuah angka produktivitas, sehingga sulit diaplikasikan pada lokasi lain yang memiliki karakteristik pekerjaan yang berbeda. Pemodelan produktivitas pondasi dalam lainnya (tiang bor) telah dilakukan dengan hasil yang lebih aplikatif. Metode-metode pemodelan yang digunakan pada pondasi tiang bor dapat dikembangkan untuk pemodelan produktivitas *HSPD*.

Oleh karena itu diperlukan penelitian produktivitas *HSPD* lebih lanjut melalui pemodelan untuk menghasilkan estimasi produktivitas pada berbagai kemungkinan pemancangan, sehingga produktivitas alat dapat diketahui pada berbagai kondisi. Berbagai model dapat dibangun untuk mendapatkan bentuk produktivitas yang dapat diaplikasikan pada pekerjaan berikutnya.

Faktor-faktor produktivitas *HSPD* yang dipertimbangkan langsung dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Ukuran tiang pancang, yaitu ukuran penampang tiang pancang.

Ukuran penampang tiang pancang dibedakan menjadi bentuk segitiga 32x32x32 cm dan bujursangkar 25x25 cm. Perbedaan luas penampang akan memberikan perlawanan gaya tekan alat, semakin luas penampang tiang pancang maka penetrasi tiang pancang ke dalam tanah memerlukan waktu yang lebih lama, sehingga mempengaruhi besarnya produktivitas alat.

- 2) Kedalaman pemancangan, dikelompokkan menjadi 2 kedalaman, yaitu: 6 dan 12 m. Kedalaman pemancangan menunjukkan jarak tempuh aktivitas pemancangan, sehingga perbedaan kedalaman pemancangan akan memberikan perbedaan produktivitas alat. Semakin dalam kedalaman pemancangan maka produktivitas akan semakin kecil.

- 3) Waktu siklus, terdiri dari 3 aktivitas pemancangan.

Waktu siklus terdiri dari 3 aktivitas pemancangan, yaitu: aktivitas menyiapkan tiang pancang, aktivitas menekan tiang pancang, dan aktivitas pindah alat. Menyiapkan tiang pancang memerlukan waktu aktivitas mulai dari mengangkat tiang pancang dari *stockpile* hingga tiang pancang siap untuk ditekan, yang

dilakukan oleh *crane*. Penekanan tiang pancang merupakan aktivitas utama pemancangan yang memerlukan waktu aktivitas, yaitu menekan tiang pancang dari permukaan tanah hingga sampai kedalaman tertentu. Pindah alat dari titik pancang terakhir ke titik pancang berikutnya merupakan bagian aktivitas pemancangan yang memerlukan waktu penyelesaian. Waktu siklus dipengaruhi oleh panjang tiang pancang dan kedalaman pemancangan.

Faktor-faktor lain yang tidak dipertimbangkan langsung, namun digunakan asumsi-asumsi adalah sebagai berikut:

1) Jenis tanah

Kenyataan di alam kebanyakan kondisi tanah heterogen antara tanah pasir, lanau, dan lempung. Sebagian besar lokasi pemancangan memiliki daya dukung tanah yang hampir sama, meskipun memiliki jenis tanah yang sedikit berbeda komposisinya. Perbedaan daya dukung tanah yang tidak signifikan tidak berdampak signifikan terhadap waktu tekan yang dibutuhkan untuk memasukkan tiang pancang ke dalam tanah sampai kedalaman tertentu. Oleh karena itu, jenis tanah diasumsikan sama, sehingga tidak diperhatikan secara khusus.

2) Pola pemancangan atau sistem kepala tiang

Pola pemancangan pada bangunan gedung terdiri dari beberapa *pile caps*. Masing-masing *pile caps* terdiri dari beberapa titik pancang. Jarak tiang pancang dalam satu *pile cap* tidak bervariasi signifikan, yaitu antara 60 – 70 cm, sedangkan jarak antar *pile caps* cukup signifikan, yaitu lebih dari 3 m. Penelitian dilakukan untuk beberapa *pile caps*, sehingga faktor pola pemancangan dipertimbangkan secara tidak langsung, karena jarak antar *pile caps* bervariasi tergantung perencanaan. Waktu pindah alat antar *pile caps* dipisahkan dan dipertimbangkan saat perencanaan kebutuhan waktu pelaksanaan keseluruhan pekerjaan pada suatu lokasi. 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 konstan.

3) Sumberdaya manusia

Sumberdaya manusia yang utama dalam proses pemancangan adalah operator. Kompetensi pengetahuan dan keterampilan operator alat berat telah ditentukan dalam SKKNI. Hal ini dimaksudkan agar pengguna jasa yakin bahwa operator dapat melakukan tugasnya sesuai standar yang ditentukan, sehingga menghasilkan

produk yang berorientasi pada mutu, waktu, dan volume pekerjaan. Produk operator tersebut dapat tercapai jika pekerjaan dilaksanakan dalam kondisi tertentu dan operator mampu dan mau melakukan suatu pekerjaan. Persyaratan tersebut banyak dipengaruhi oleh faktor internal operator, yaitu: kondisi psikologis operator, kondisi kesehatan saat bekerja, dan semangat kerja operator. Faktor eksternal juga berperan dalam menentukan produk operator, yaitu: kondisi lokasi pekerjaan, kondisi manajemen, dan kondisi cuaca. Pengaruh faktor internal dan eksternal sulit diteliti secara detail, sehingga variabel sumberdaya manusia dapat diwakili dengan faktor koreksi berdasar tabel-tabel yang umum digunakan

Penelitian dikelompokkan untuk 2 macam ukuran penampang tiang pancang dengan panjang 6 m. Kedalaman pemancangan terdiri dari 2 kedalaman, masing-masing kedalaman menggunakan banyaknya tiang pancang (BTP) tertentu. Kedalaman 6 m menggunakan 1 BTP dan 12 m menggunakan 2 BTP. Masing-masing kelompok memiliki waktu siklus tersendiri yang fluktuatif, sehingga produktivitas juga akan berfluktuasi. Dengan demikian, waktu siklus sebagai penentu besarnya produktivitas, fluktuasinya dipengaruhi oleh kedalaman pemancangan dan BTP pada masing-masing jenis tanah dan ukuran penampang tiang pancang, sedangkan BTP dipengaruhi oleh ukuran panjang tiang pancang. Banyaknya kombinasi faktor produktivitas di atas dan berfluktuasinya waktu siklus karena pengaruh faktor lainnya membutuhkan penelitian lebih lanjut melalui pemodelan untuk mendapatkan bentuk produktivitas *HSPD* yang mewakili berbagai kondisi tersebut.

Metode estimasi produktivitas yang berkembang saat ini adalah: metode perhitungan deterministik, teknik simulasi konstruksi, analisis statistik atau perangkat pembuat keputusan lainnya. Pemodelan produktivitas *HSPD* belum pernah dilakukan, namun pemodelan produktivitas proses tiang bor pernah dilakukan menggunakan berbagai model. Mengembangkan penelitian tiang bor, maka penelitian ini menggunakan pemodelan deterministik (analitis), simulasi *Cyclone*, regresi, dan *ANN*.

Pekerjaan pemancangan melalui tahapan proses tertentu, sehingga diperoleh data pengamatan yang diperlukan untuk menentukan besarnya produktivitas. Dengan demikian, pemodelan dapat berorientasi pada proses pemancangan dan data pengamatan tanpa memperhatikan proses pemancangan. Pemodelan yang berorientasi pada proses pemancangan adalah deterministik dan simulasi *Cyclone*, sedangkan regresi dan *ANN* berorientasi pada data pengamatan.

Pemodelan deterministik (analitis) mengestimasi produktivitas dengan menganalisis proses pemancangan secara matematis. Proses pemancangan melibatkan 3 mesin, yaitu *crane*, *HSPD*, dan las. Masing-masing mesin memerlukan waktu siklus tersendiri untuk menyelesaikan tugasnya. Waktu siklus mesin *crane* dan mesin las cenderung konstan atau tidak bervariasi signifikan, sedangkan waktu siklus mesin *HSPD* bervariasi signifikan karena dipengaruhi oleh faktor ukuran tiang pancang, dan kedalaman pemancangan. Observasi yang dilakukan berulang-ulang akan diperoleh sekumpulan data waktu siklus. Metode deterministik menggunakan waktu siklus rata-rata masing-masing mesin dan menjumlahkannya untuk memperoleh waktu siklus total, sehingga produktivitas dapat ditentukan secara matematis menggunakan persamaan produktivitas. Dengan demikian, observasi pemancangan dapat dimodelkan dengan metode deterministik, dengan variabel pemodelan waktu siklus yang dipengaruhi oleh kedalaman pemancangan dan BTP.

Pemodelan simulasi *Cyclone* mengestimasi produktivitas dengan menganalisis proses pemancangan menjadi tahapan pemancangan yang dirancang dalam bahasa simulasi. Rancangan model itu mensimulasikan tahap-tahap pemancangan sesuai kedalaman pemancangannya, sehingga diperoleh beberapa rancangan model. Program simulasi ini secara khusus dapat menghitung produktivitas sesuai rancangan model yang dibangun dengan *input* waktu siklus pada tiap-tiap tahap pemancangan. Dengan demikian, metode simulasi *Cyclone* dapat memodelkan produktivitas dengan dengan variabel waktu siklus yang dipengaruhi oleh kedalaman pemancangan dan BTP.

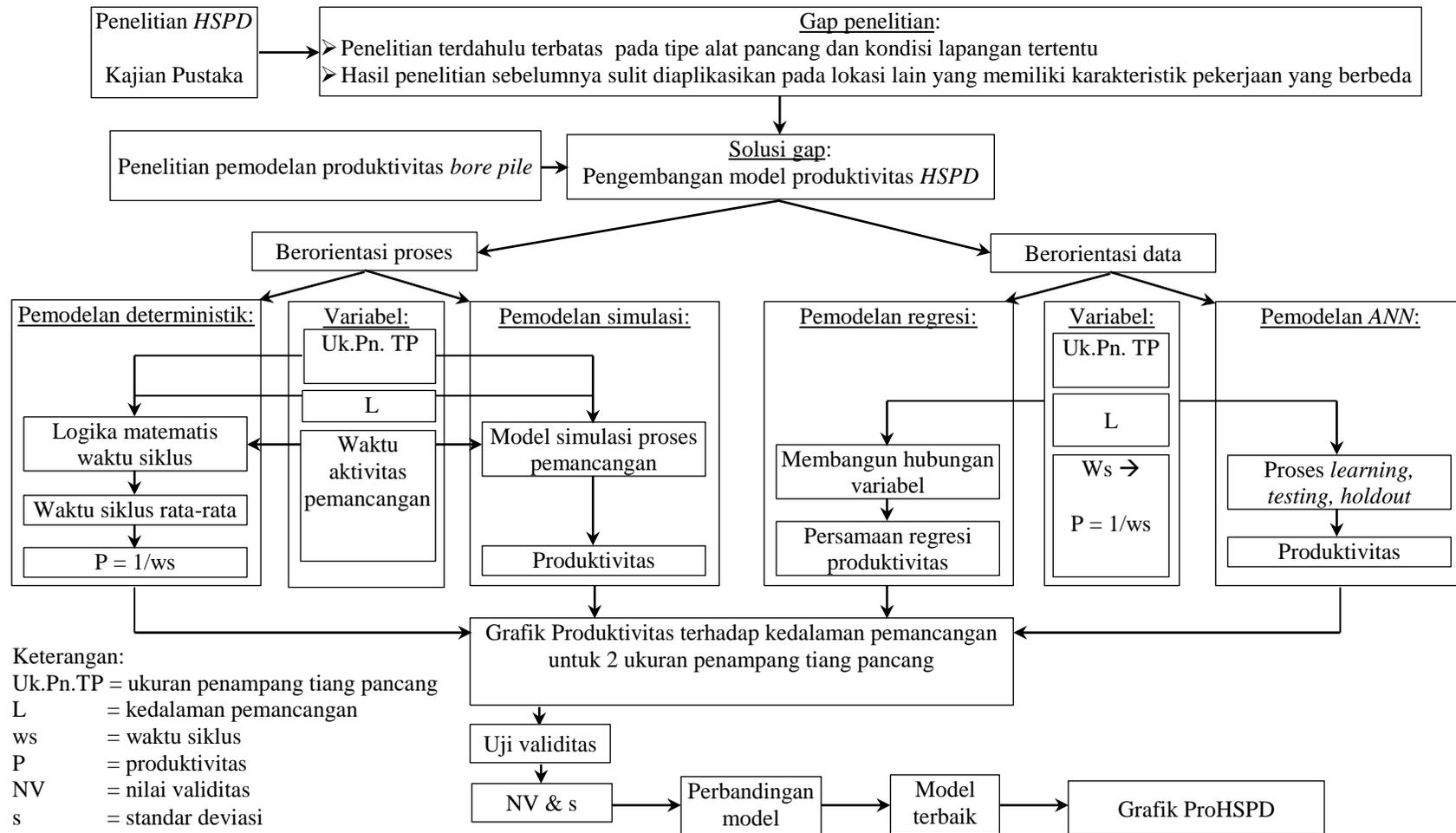
Pemodelan regresi dan *ANN* mengestimasi produktivitas dengan menganalisis data pengamatan tanpa memperhatikan proses pemancangannya. Data pengamatan meliputi: ukuran tiang pancang (ukuran penampang dan panjang), kedalaman pemancangan, dan waktu siklus. Ukuran penampang tiang pancang sebagai kelompok besar data, ukuran panjang tiang yang digunakan menentukan BTP, kedalaman pemancangan sebagai variabel yang ingin diketahui produktivitasnya, dan waktu siklus digunakan untuk menghitung produktivitas. Analisis statistik menggunakan regresi diperlukan untuk mengetahui hubungan matematis antara variabel dependen dan independen. Metode *ANN* akan melatih *input* melalui *learning*, *testing*, dan *holdout*, sehingga diperoleh variabel dependen yang terbaik. Variabel dependen yang digunakan adalah variabel produktivitas, yang dihitung secara matematis dari hubungan produktivitas dan waktu siklus. Variabel independen yang digunakan adalah kedalaman

pemancangan. Dengan demikian, observasi pemancangan dapat dimodelkan dengan metode regresi dan *ANN*, dengan variabel dependen produktivitas dan variabel independen kedalaman pemancangan.

Keempat model di atas akan menghasilkan grafik produktivitas terhadap kedalaman pemancangan, sehingga dimungkinkan menghasilkan bentuk grafik dan hasil yang hampir sama. Model deterministik dan simulasi *Cyclone* berorientasi pada proses pemancangan dengan variabel waktu aktivitas pemancangan, sedangkan metode regresi dan *ANN* berorientasi pada data pengamatan dengan variabel kedalaman pemancangan. Model deterministik dan simulasi *Cyclone* meninjau produktivitas tiap kedalaman pemancangan, selanjutnya hasil digabungkan untuk menghasilkan grafik produktivitas. Metode regresi dan *ANN* meninjau produktivitas pada semua kedalaman pemancangan yang diteliti sekaligus, sehingga menghasilkan grafik produktivitas.

Data yang terkumpul dibagi dalam 2 kelompok yaitu 70% data digunakan untuk membangun model dan 30% data digunakan untuk validasi model. Pengelompokan dilakukan secara acak. Keluaran model dibandingkan dengan kumpulan produktivitas aktual dari data validasi, sehingga diperoleh nilai faktor validasi. Jika hasil model mendekati data aktual berarti model valid. Uji sensitivitas untuk menguji konsistensi model yang dilakukan dengan mengubah variabel masukan. Apabila keluaran model menunjukkan pola yang sama berarti model konsisten dan stabil. Seberapa besar tingkat sensitivitas model dinyatakan dengan prosentase ketahanan atau tingkat kepercayaan.

Nilai validitas dan deviasi digunakan untuk menentukan model terbaik. Model yang memiliki nilai validitas tertinggi dan nilai deviasi terendah dapat dikatakan sebagai model terbaik. Model terbaik yang terpilih perlu divalidasi lagi dengan menerapkan langsung di lapangan atau menggunakan sisa data pengukuran. Hasil validasi menunjukkan tingkat keakuratan model untuk menaksir produktivitas. Semakin tinggi tingkat keakuratan model berarti model memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi untuk diaplikasikan. Uraian kerangka berpikir di atas disarikan dalam Gambar 2-23.



Gambar 2-23. Kerangka Berpikir Penelitian

2.11 Batasan Sumber Data Penelitian

Menurut Sarwono (2006) desain penelitian kuantitatif dikelompokkan menjadi dua, yaitu: desain riset eksploratori dan konklusif. Desain riset konklusif terdiri dari desain *Ex Post Facto* dan eksperimental. Pada desain *Ex Post Facto* tidak terjadi manipulasi variabel bebas. Studi lapangan dan survei merupakan bagian dari desain *Ex Post Facto*. Studi lapangan merupakan desain penelitian yang mengkombinasikan antara studi literatur, survei berdasar pengalaman, dan/atau studi kasus di mana peneliti berusaha mengidentifikasi variabel-variabel penting dan hubungan antar variabel tersebut dalam situasi permasalahan tertentu.

Keakuratan data dipengaruhi oleh sumber-sumber data yang memiliki keterbatasan. Keterbatasan sumber data dapat diabaikan selama dapat dikondisikan, sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian. Sumber-sumber data meliputi:

1) Operator *HSPD*

Syarat jabatan kerja operator *HSPD* belum diatur dalam SKKNI. Mengacu pada syarat-syarat operator alat berat lainnya yang telah dijelaskan pada sub bab 2.7.6, maka syarat jabatan operator *HSPD* yang utama adalah: memiliki pengalaman kerja 1.000 – 5.000 jam dan memiliki sertifikat kompetensi operator *HSPD*.

Operator yang diteliti telah berpengalaman lebih dari 5 tahun (sejak 2007), namun belum memiliki sertifikat kompetensi. Pekerjaan dapat dilakukan dengan sistem upah borongan dan harian. Berdasar informasi mandor pelaksana (Habib, 2012), bila pekerjaan dilakukan dengan sistem upah harian, maka hasil pekerjaan 16 titik tiap hari, bila dengan sistem upah borongan bisa mencapai 20 titik tiap hari. Hal ini disebabkan oleh perbedaan penggunaan waktu tiap jam kerjanya. Operator pada sistem upah harian cenderung sering beristirahat, sedangkan pada sistem upah borongan memacu operator menggunakan waktu secara maksimal, sehingga diperoleh hasil yang maksimal. Dengan demikian sistem upah borongan menghasilkan produktivitas yang lebih tinggi daripada sistem upah harian.

2) Kondisi alat

Berdasar informasi mandor pelaksana (Habib, 2012), alat *HSPD* seri ZYC tipe 120B-B dimiliki dan dioperasikan oleh PT. Multi Beton Karya Mandiri sejak 30-5-2012, sedang penelitian dimulai September 2012 hingga Juni 2014. Bila diperkirakan alat beroperasi 2.400 jam setahun (8 jam x 300 hari), maka sampai saat ini alat masih

dalam umur ekonomis. Umur ekonomis alat berat berkisar 10.000 – 15.000 jam operasi bila pemeliharaan mesin baik maka produktivitas alat akan tetap stabil (Partanto, 2000). Umur alat ini masih relatif baru, sehingga umur alat tidak mempengaruhi hasil penelitian ini. Bila kondisi alat di luar umur ekonomis dan tetap dioperasikan, maka hasil penelitian ini harus dikalikan dengan faktor koreksi.

Merek alat mempengaruhi ketahanan alat namun tidak mempengaruhi produktivitas alat karena produktivitas alat ditentukan oleh spesifikasi alat.

3) Kondisi lapangan

Sebelum pekerjaan dilakukan disyaratkan kondisi lapangan rata dan padat, sehingga manuver alat tidak terganggu. Kondisi tanah permukaan yang lembek dapat mengganggu manuver alat, sehingga mempengaruhi produktivitas alat. Kondisi lapangan yang tidak rata juga sangat merugikan karena dapat mengakibatkan patahnya kaki-kaki alat. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan tanah permukaan dengan penimbunan dan pemadatan, sehingga diperoleh kondisi lapangan yang rata dan padat.

4) Kondisi tiang pancang

Kondisi tiang pancang harus memenuhi syarat mutu, umur beton, pengiriman, dan penyimpanan di lokasi pekerjaan agar tidak menimbulkan masalah saat pemancangan. Hal tersebut harus diatur sedemikian rupa, sehingga tidak mengganggu pencapaian produktivitas yang diharapkan.

Tiang pancang diproduksi sesuai mutu beton yang diminta konsumen dan dipancarkan setelah umur beton minimal 28 hari.

Pengiriman tiang pancang ke lokasi pekerjaan diatur sedemikian rupa, sehingga tidak terjadi keterlambatan yang mengganggu kelancaran pekerjaan. Bila terjadi keterlambatan, maka lama waktu keterlambatan diperhitungkan sendiri sebagai toleransi waktu penyelesaian pekerjaan keseluruhan.

Penyimpanan tiang pancang di lokasi pekerjaan harus diatur sebaik mungkin, sehingga tidak mengganggu proses pemancangan meskipun kenyataannya sering timbul kendala bila lokasi pekerjaan tidak cukup luas. Kendala lokasi yang tidak cukup luas dapat disolusikan dengan menyimpan tiang pancang di area dengan mempertimbangkan urutan titik-titik pemancangan.

5) Hambatan-hambatan dalam tanah

Hambatan-hambatan dalam tanah sulit diprediksikan. Kondisi lapisan tanah di alam biasanya heterogen atau dimungkinkan terdapat lensa (lapisan tipis yang lebih keras)

di antara lapisan tanah sehingga kecepatan penetrasi tidak stabil. Pelaksanaan pemancangan mengacu pada kedalaman pemancangan yang sudah ditentukan. Bila terdapat lensa sebelum mencapai kedalaman pemancangan rencana dan alat masih mampu menembusnya maka pemancangan terus dilakukan sampai kedalaman itu. Namun bila lensa cukup tebal dan alat tidak mampu menembusnya maka pemancangan dihentikan. Keberadaan lensa akan mempengaruhi waktu pemancangan, sehingga mempengaruhi produktivitas alat, namun keberadaannya sulit diprediksi.

Dengan demikian, kondisi sumber data penelitian ini adalah:

- (1) Operator cakap dan berpengalaman.
- (2) Alat dalam batas umur ekonomis.
- (3) Kondisi lapangan diatur dalam kondisi rata dan padat.
- (4) Syarat mutu dan umur beton, pengiriman, penyimpanan di lokasi pekerjaan diatur sedemikian rupa syarat dan ketentuan pekerjaan.
- (5) Lapisan lensa yang dapat ditembus diabaikan sedang yang tidak mampu ditembus maka pemancangan dihentikan. Berdasar penelitian awal di 4 lokasi, hanya lokasi PT. EVERWIN di Gresik yang terdapat lensa, persentase titik pancang yang melalui lensa kurang dari 10% dibandingkan dengan keseluruhan titik-titik pancang yang diamati, sehingga keberadaan lensa dapat diabaikan.

2.12 Kebaruan

Penelitian ini menghasilkan temuan baru sebagai kebaruan yang bermanfaat secara akademis dan praktis, yaitu:

- 1) Grafik produktivitas *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B (ProHSPD).

Penelitian produktivitas *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B belum pernah dilakukan dan penelitian produktivitas *HSPD* masih sangat terbatas. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan masih terbatas pada produktivitas *HSPD* untuk seri dan tipe alat yang berbeda-beda, sehingga hasil penelitian belum dapat dimanfaatkan secara optimal karena tidak berbentuk grafik produktivitas. Di sisi lain, telah dilakukan penelitian produktivitas alat bor pondasi dalam, yang menggunakan pemodelan untuk menghasilkan grafik produktivitas, sehingga memberikan manfaat untuk perencanaan pekerjaan pondasi bor berikutnya. Penelitian ini akan mengadopsi teknik pemodelan produktivitas untuk menghasilkan grafik ProHSPD terhadap kedalaman pemancangan

pada beberapa ukuran penampang tiang pancang yang belum pernah ada sebelumnya, sehingga menjadi kebaruan dalam ilmu pengetahuan.

2) Pengembangan 4 metode pemodelan untuk mengestimasi produktivitas *HSPD*.

Beberapa ahli pemodelan produktivitas telah menggunakan 4 metode pemodelan produktivitas, yaitu: deterministik, simulasi, analisis statistik, dan metode pengambilan keputusan lainnya. Metode deterministik, simulasi *MycroCyclone*, regresi, dan *ANN* telah digunakan pada penelitian produktivitas alat bor pondasi dalam. Penelitian ini menggunakan metode: deterministik, simulasi *Cyclone Template Symphoni*, regresi, dan *ANN* untuk mengestimasi produktivitas *HSPD* seri *ZYC* tipe 120B-B, sebagai pengembangan 4 metode pemodelan yang ada, sehingga menjadi kebaruan dalam ilmu pengetahuan.