

UNIT LIMA

ANALISIS KEUPAYAAN PROSES

Objektif

Selepas mempelajari unit ini, diharap pelajar dapat

1. membezakan had spesifikasi dan had toleransi
2. membina dan mentafsirkan histogram dan plot kebarangkalian
3. mengira dan mentafsir nisbah keupayaan proses NPK , NPK_k , NPK_{km}
4. memahami konsep proses didalam pusat dan proses di luar pusat

5.0 Pengenalan

Pada unit lepas, kita telah membincangkan beberapa kaedah untuk mengawal/memantau proses supaya ianya terkawal dengan menggunakan carta kawalan. Persoalan seterusnya ialah adakah produk atau perkhidmatan yang diberikan telah memenuhi spesifikasi yang diperlukan oleh pelanggan? Untuk menjawab soalan ini kita memerlukan satu ukuran yang dapat menilai kemampuan/kebolehan/keupayaan sesuatu proses sama ada ia telah mematuhi spesifikasi yang ditetapkan. Keperluan ini boleh didapati daripada ukuran prestasi proses. Keupayaan proses merujuk kepada suatu proses

yang beroperasi secara uniform. Sememangnya variabiliti di dalam proses tertentu menyumbang kepada ketidakseragaman output. Oleh yang demikian, ukuran keseragaman output di pengaruhi oleh variability proses.

Terdapat 2 variabiliti yang diperhatikan pada output kebanyakan proses.

- Variabiliti semulajadi pada masa tertentu iaitu variability serta-merta .
- Variabiliti terhadap masa.

Sebelum Analisis Keupayaan Proses di bincangkan dengan lebih lanjut, kita perlu berikan beberapa takrif penting.

Takrif 5.1 Had Spesifikasi dan Had Toleransi.

Had yang mentakrifkan sempadan pematuhan bagi unit individu suatu proses pembuatan atau proses/operasi perkhidmatan.

Biasanya had toleransi lebih digemari di dalam menilai/menaksir kehendak pembuatan atau perkhidmatan.

Had spesifikasi lebih sesuai bagi mengelaskan bahan /produk atau perkhidmatan dari segi keperluan yang ditetapkan.

Contoh 5.1

Katakan lah spesifikasi kren bangunan boleh mengangkat beban ada lah, 5000 ± 300 kg. Untuk memenuhi kriteria ini, garispusat kabel besi hendaklah 4 ± 0.2 sm. Keperluan pembuatan ini bagi garis pusat kabel boleh dilihat sebagai toleransi. Secara amnya toleran subset spesifikasi. Biasanya toleran tertakluk kepada kehendak fizikal (seperti panjang, garispusat, tebal dan lain-lain), manakala spesifikasi termasuk semua keperluan/ kehendak

Had spesifikasi ditentukan oleh keperluan pengguna. Apa yang pengguna hendakkan pada produk atau perkhidmatan dianalisis dengan penyelidikan pasaran dan dimasukkan melalui rekabentuk produk atau perkhidmatan.

Had spesifikasi bagi ciri produk ditetapkan oleh jurutera/pereka barangan bagi setiap unit untuk memastikan produk berfungsi dengan memuaskan.

Had kawalan digunakan untuk mengenalpasti variabiliti yang wujud antara sampel, atau

subkumpulan tetapi tidak bagi unit individu kecuali carta kawalan bagi ukuran individu.

Perlu diingat di sini bahawa tiada kaitan antara had kawalan dan had spesifikasi. Had kawalan menunjukkan variabiliti proses manakala had spesifikasi ialah nilai ukuran yang ditetapkan oleh pengeluar atau pihak tertentu yang berkait rapat dengan produk.

Contoh 5.2 : Perbezaan had spesifikasi dan had kawalan

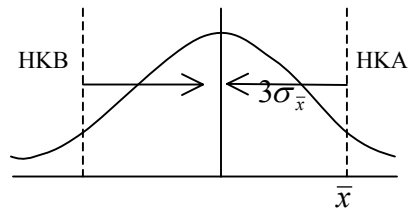
Bagi menjelaskan perbezaan antara had spesifikasi dan had toleransi kita akan mempertimbangkan dua keadaan yang berbeza. Pertama kita akan mempertimbangkan suatu proses yang terkawal tetapi produk tidak menepati spesifikasi dan bagi keadaan yang kedua pula, kita akan mempertimbangkan proses di luar kawalan tetapi produk masih mematuhi spesifikasi.

Kita mulakan perbincangan dengan mengandaikan ciri kualiti produk bertaburan normal. Pertimbangkan suatu carta \bar{x} dan Renj R dimana proses didapati terkawal. Rajah 5.1 menunjukkan had kawalan Carta \bar{x} , ia itu tiga sisihan piawai daripada purata proses. Daripada Teorem Had Memusat, kita tahu bahawa sisihan

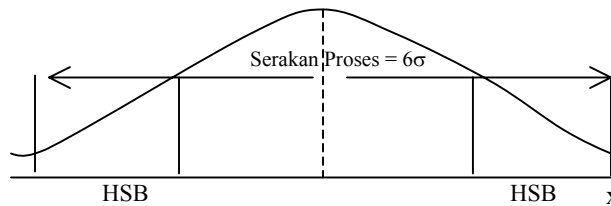
piawai item individu σ berkait dengan sisihan piawai min sampel, iaitu $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Maka

$$\sigma = \sqrt{n} \sigma_{\bar{x}}$$

Rajah 5.1 Carta \bar{x} dengan proses terkawal.



Rajah 5.2 Carta \bar{x} dengan proses di luar kawalan



Rajah 5.2 menunjukkan taburan bagi proses x , dimana item individu diandaikan bertaburan normal. Rajah ini menunjukkan jangkaan darjah variabiliti bagi ciri kualiti item individu jika proses terkawal.

Serakan proses (iaitu penyimpangan yang dijangkakan antara nilai ciri maksimum dan minimum yang di anggap normal) ialah 6σ .

Andaian kenormalan menunjukkan bahawa lebih kurang 99.74% taburan bagi setiap individu item berada dalam renj $\pm 3\sigma$ daripada min, yang mana kita anggapkan terkandung kesemua item yang dihasilkan oleh proses. Sekiranya kita menindihkan/melipatkan had spesifikasi atas dan bawah pada Rajah 5.2, kita boleh lihat beberapa individu berada di luar spesifikasi. Had kawalan mempengaruhi serakan proses tetapi tidak berkorelasi dengan had spesifikasi. Contoh ini menunjukkan keadaan di mana proses terkawal tetapi beberapa produk tidak mematuhi spesifikasi. Perlu diingat bahawa had kawalan carta \bar{x} mengukur variabiliti min sampel manakala had spesifikasi mewakili batas yang diinginkan bagi variabiliti item individu.

Sekarang perhatikan pula keadaan di mana proses di luar kawalan tetapi masih mengeluarkan item di dalam spesifikasi. Rujuk Rajah 5.1, dan katakan beberapa titik atas Carta \bar{x} , di luar kawalan. Ingat bahawa $\sigma = \sqrt{n}\sigma_{\bar{x}}$, maka jika $\sigma_{\bar{x}}$ meningkat secara relatif kepada bila proses terkawal, σ akan meningkat juga. Maka, variabiliti bagi taburan

item individu pada Rajah 5.2 juga akan meningkat, menunjukkan serakan proses juga meningkat. Katakan keperluan pengguna tidak berapa cerewet dan ini menunjukkan kelonggaran had spesifikasi. Jika had spesifikasi juga diubahsuai menjadi besar, ini menunjukkan item yang dikeluarkan boleh diterima walaupun di luar kawalan.

5.1 Had Toleran Biasa

Had toleran biasa dikenali sebagai had proses keupayaan dan pembinaannya dipengaruhi oleh proses min dan proses sisihan piawai. Ia nya mewakili variabiliti semulajadi ciri kualiti output item individu pada keadaan proses terkawal.

Bagi membina had toleran ini, biasanya kita mengambil serakan 6σ bagi taburan. Jika X adalah ciri kualiti produk, maka bagi mengukur proses keupayaan permulaan, dengan mengandaikan $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, diberi oleh;

$$\text{Had Atas Toleran Biasa (HATB)} = \mu + 3\sigma$$

$$\text{Had Bawah Toleran Biasa (HBTB)} = \mu - 3\sigma.$$

Andaian taburan normal bagi X menunjukkan hampir kesemua cerapan/item (≈ 99.74 atau

99.73%) yang dihasilkan mempunyai nilai di dalam batas dan $\approx 0.27\%$ di luar batas.

Sangat penting diingatkan bahawa analisis keupayaan proses dilakukan hanya bila proses adalah di dalam keadaan terkawal.

Kita telah bincangkan pada Unit lepas bahawa proses dikatakan terkawal sekiranya hanya wujud variabiliti semulajadi/ rawak dalam sistem dan semua sebab khas telah dikenalpasti dan tindakan tertentu telah diambil untuk membetulkannya.

5.2 Keupayaan Proses

- Mewakili prestasi proses yang di dalam keadaan terkawal.
- Variabiliti di dalam ciri kualiti produk boleh dicapai/diperoleh atau boleh di ukur apabila kesemua sebab khas telah di singkirkan dan proses menjadi terkawal.
- Prestasi produk boleh diramalkan kerana kesemua sebab khas/bolehpuk telah dihapuskan dan proses menjadi terkawal. Dengan ini kita boleh membuat ramalan tentang keupayaan/kemampuan produk yang akan memenuhi kehendak pelanggan.

- Mengukur keseragaman proses, iaitu ia menunjukkan keseragaman output.

5.3 Analisis Proses Keupayaan

- Mewakili prosedur/tatacara untuk menganggarkan keupayaan proses.
- Ia melibatkan penganggaran min dan sisihan piawai proses bagi ciri kualiti tertentu.
- Kajian Proses Keupayaan melibatkan pemerhatian, pemungutan dan penganalisan data dengan kaedah berstatistik seperti menentukan taburan cerapan ciri kualiti, menganggarkan proses parameter, menganggarkan ukuran keupayaan sesuatu proses dan lain-lain mengikut masa atau secara berkala.

Perlu dijelaskan disini bahawa teknik analisis keupayaan proses boleh digunakan ke atas beberapa bahagian putaran produk termasuk rekabentuk proses, rekabentuk produk, sumber penjual, pelan pembuatan dan lain-lain. Analisis keupayaan proses diperlukan bagi keseluruhan program peningkatan kualiti. Bagi program yang sedang berjalan memerlukan penganggaran parameter proses secara berterusan. Dengan

memantau parameter ini, kita akan dapat memastikan prestasi terbaik bagi proses yang berupaya untuk memenuhi keperluan pelanggan.

Contoh 5.3

Sekiranya proses tidak mematuhi keperluan, maka tindakan perlu dilakukan untuk membetulkan keadaan. Sebagai contoh, suatu proses tidak mematuhi keperluan. Tindakan yang diambil ialah dengan memusatkan purata proses kepada nilai sebenar, menentukan kebolehlaksanaan, menurunkan serakan proses dengan membeli alat baru, atau dapatkan bahan mentah yang berkualiti tinggi.

Beberapa Faedah Melaksanakan Analisis Keupayaan Proses

1. Output menjadi seragam. Dengan melakukan analisis keupayaan proses dan membuat penyuaian yang diperlukan ke atas parameter proses, akan dapat mengawal variabiliti dengan rapi. Sebarang rupa-bentuk yang tidak diingini ke atas taburan ciri kualiti hendaklah dinilai dan sebarang perubahan parameter proses perlu dibuat.
2. Paras kualiti proses dapat dikekalkan atau dapat diperbaiki. Analisis proses keupayaan menunjukkan samaada alat baru diperlukan atau

- tidak. Sekiranya perubahan ini dimasukkan ke dalam sistem, keupayaan baru dapat ditentukan.
3. Ia boleh menolong kita membuat keputusan untuk pemilihan pembekal. Syarikat boleh meminta pembekal untuk memberikan laporan tentang analisis proses keupayaannya, dengan ini dapat memberi garis panduan untuk memilih pembekal yang boleh memenuhi kehendak syarikat.

5.4 Teknik permulaan bagi analisis proses keupayaan

Biasanya beberapa teknik permulaan dilakukan sebelum ukuran keupayaan proses di anggarkan. Dalam unit ini akan di bincangkan dua teknik iaitu pembinaan histogram dan plot kebarangkalian untuk menentukan taburan dan menganggarkan parameter proses. Rekabentuk ujikaji akan di bincangkan pada Unit 7.

5.4.1 Histogram

Histogram berguna untuk menentukan taburan ciri kualiti proses samada ianya bertaburan normal atau tidak. Daripada histogram juga, dapat kita menganggarkan keupayaan proses. Bagi memastikan histogram ini menjadi stabil supaya proses keupayaan yang dianggarkan boleh

dipercayai, sekurang-kurangnya 100 atau lebih cerapan diperlukan untuk pembinaannya.

Contoh 5.4

Pertimbangan data pada Jadual 10, **Halaman 12** iaitu mewakili kekuatan ledakan 100 botol minuman. Taburan kekerapan dan Histogram juga diplotkan pada **Halaman 12**. Ingat kembali cara untuk membina Taburan kekerapan, rujuk Modul MTK3401. Mulakan dengan menyusun data secara menaik. Kemudian, tentukan bilangan kelas yang dikehendaki, ia-itu pada kebiasaannya dari lima hingga lima belas. Sebagai panduan, bilangan kelas, ditanda dengan k , dianggarkan dengan $K = 1 + 3.322 (\log (n))$. Merujuk Jadual 10, $k = 1 + 3.322(2) = 8$. Gunakan angka bulat bagi bilangan kelas.

Seterusnya lebar kelas ditanda dengan l dianggarkan, $l = \text{Julat} / k$. Untuk menyenangkan pengguna supaya persembahan data menjadi lebih menarik, biasanya pilih lebar kelas dengan pekali 5, 10, 15, 20 dan lain-lain. Anggaran bagi lebar kelas bagi data pada Jadual 10 ialah,

$$L = (346 - 176) / 8 = 21.25.$$

Kita boleh menggunakan lebar kelas 21.25 tetapi tidak menarik, maka disarankan menggunakan pekali 20 kerana 21.25 hampir dengan 20.

Daripada Jadual 10, sampel min dan sampel sisihan piawai proses seperti berikut:

$$\bar{x} = 264.06 \quad S = 32.02$$

Sebagai permulaan, untuk mengukur dengan segera atau menganggarkan keupayaan proses, kita boleh menggunakan had toleran biasa, ia-itu $\bar{x} \pm 3S$. Merujuk kepada data Jadual 10, anggaran permulaan bagi proses keupayaan ia-lah, $264.06 \pm 3(32.02) \approx (264 \pm 96) \text{ psi} \rightarrow (168, 360)$

Daripada rupabentuk histogram pada Halaman 12 menunjukkan bahawa taburan bagi kekuatan ledakan hampir normal. Maka kita boleh anggarkan $\approx 99.73\%$ semua botol yang dikilangkan dengan proses ini akan ledak antara 168 dan 360 psi. kebaikan menggunakan histogram untuk penganggaran ialah ia memberi gambaran segera tentang prestasi proses.

5.4.2 Plot Kebarangkalian

Plot kebarangkalian adalah alternatif kepada histogram. Ianya tidak memerlukan cerapan yang banyak seperti pembinaan histogram.

Contoh 5.5

Pertimbangkan 20 cerapan kekuatan ledakan botol, 197, 200, 215, 221, 231, 242, 245, 258, 265, 265, 271, 275, 277, 278, 280, 283, 290, 301, 318 dan 346.

Bina plot kebarangkalian bagi data di atas.

Langkah;

- i) susun cerapan secara menaik, bagi $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}$
- ii) kirakan kekerapan longgokan tercerap, ia-itu $(i - 0.5)/n, i = 1, 2, 3, \dots, n$
- iii) Plotkan pasangan $X_{(i)}$ dan $(i - 0.5)/n(100.00\%)$ di atas kertas kebarangkalian normal.

Ciri plot ini ia lah sekiranya titik-titik yang diplotkan kelihatan hampir seperti garis lurus, maka cerapan data adalah boleh dianggap normal. Apabila memplot, kita lebih menekankan kepada titik-titik yang di tengah daripada titik-titik ekstrim. Peraturan yang biasa ialah dengan melakarkan garis lebih kurang antara titik-titik pada persentil yang ke 25 dan ke 75.

Min dan sisihan piawai proses juga boleh di anggarkan daripada plot kebarangkalian. Min

boleh dianggarkan pada persentil yang ke 50 dan sisihan piawai antara persentil ke 50 dan 84.

Merujuk kepada plot kebarangkalian pada Halaman 12, kelihatan plot yang dilakarkan hampir menyerupai garis lurus, menunjukkan taburan kekuatan ledakan hampir normal. Min dan sisihan piawai proses boleh di anggarkan;

$$\begin{aligned}\hat{\mu} &= \text{Persentil ke 50} = 260 \text{ psi} \\ \hat{\sigma} &= \text{Persentil 84} - \text{Persentil 50} \\ &= 298 - 260 = 38 \text{ psi}\end{aligned}$$

Perhatikan $\hat{\mu} = 260$ psi dan $\hat{\sigma} = 38$ psi hampir kepada purata sampel bagi data Jadual 10, ia-itu $\bar{x} = 264.06$ dan $S = 32.02$.

Kita mesti berhati-hati apabila menggunakan plot ini. Sekiranya data bukan bertaburan normal, pentakbiran berkaitan proses keupayaan boleh mengakibatkan ralat yang serius. Ini bermakna pentakbiran yang dibuat tidak boleh dipercayai. Keburukan penggunaan plot ini ialah pengecaman bentuk plot adalah subjektif. Kadangkala 2 orang memberikan kesimpulan yang berlainan, mengikut pandangan mata individu sama ada kelihatan seperti garis lurus atau sebaliknya.

5.5 Nisbah Keupayaan Proses

Apabila membincangkan keupayaan proses, ianya akan menjadi lebih mudah difahami sekiranya kita dapat menyediakan cara kuantitatif mudah untuk mengukur proses keupayaan tersebut. Nisbah Keupayaan Proses di tanda dengan NPK atau dikenali dengan Indeks Keupayaan Proses, C_p , digunakan untuk mengukur keupayaan sesuatu proses yang mengilangkan produk bagi mematuhi spesifikasi yang ditetapkan. NPK di beri oleh;

$$\hat{NPK} = \frac{HSA - HSB}{6\hat{\sigma}}$$

di mana HSA : Had Spesifikasi Atas dan HSB : Had Spesifikasi Bawah.

σ adalah sisihan piawai proses dan pada kebiasaanya nilai σ ini tidak diketahui dan ianya perlu dianggarkan dengan $\hat{\sigma}$. σ boleh dianggarkan dengan S atau \bar{R}/d_2 (dapatkan daripada Carta Kawalan Renj semasa proses terkawal) atau \bar{s}/c_4 (dapatkan daripada Carta Kawalan S semasa proses terkawal) atau \bar{R}/d_2 (dapatkan daripada Carta Kawalan R semasa proses terkawal). Maka anggaran NPK diberi oleh;

$$\hat{NPK} = \frac{HSA - HSB}{6\hat{\sigma}}$$

- i). Perhatikan serakan proses adalah asas takrifan bagi proses keupayaan
- ii). Ia mengaitkan serakan proses (perbezaan antara had toleran biasa) dan serakan antara had spesifikasi.

Contoh 5.6

Anggarkan nilai Nisbah Proses Keupayaan dengan merujuk data gegelang piston enjin kereta pada Contoh 2.5, Halaman 26.

Penyelesaian

Min garispusat gegelang piston dianggarkan dengan $\bar{x} = 74.001mm$ dan

Proses sisihan piawai dianggar dengan $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0.023}{2.326} = 0.0099$.

Katakanlah Had spesifikasi yang ditetapkan oleh pengeluar ialah, $74 \pm 0.03mm$

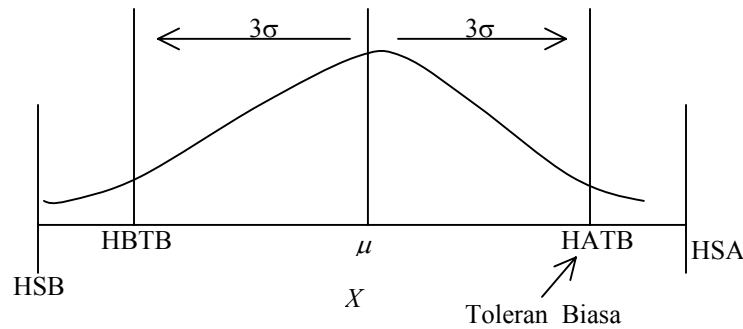
Maka HSA = 74.03 dan HSB = 73.97.

Oleh itu NPK di anggar seperti berikut;

$$\hat{NPK} = \frac{74.03 - 73.97}{(6)(0.0099)} = 1.0101$$

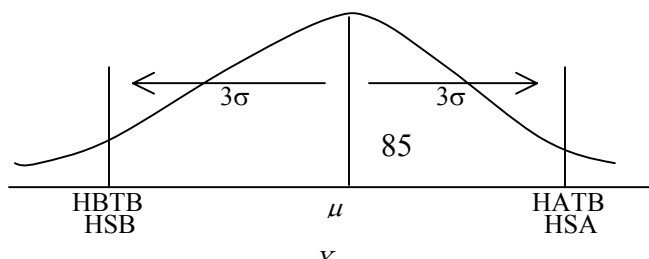
Sekarang kita pertimbangkan beberapa kes, bagi membuat penafsiran tentang nilai yang didapati dari ukuran NPK

i). Proses yang berpusat antara had spesifikasi akan menghasilkan pecahan/kadar item di luar spesifikasi yang minima.



Rajah di atas menunjukkan kes di mana proses yang berpusat adalah lebih berupaya untuk memenuhi spesifikasi dengan anggapan kenormalan. ($C_p > 1$). Ini bermakna kita menginginkan nilai $C_p \geq 1$.

ii). Apabila nilai $C_p = 1$, ini menunjukkan serakan proses setara dengan serakan antara spesifikasi. Apabila ini berlaku proses dikatakan sekadar berupaya



iii). Jika $C_p < 1$ menunjukkan variabiliti proses yang diukur dengan 6σ lebih besar daripada had spesifikasi . Ini menunjukkan keupayaan proses lemah.

Dengan perbincangan ini, sekarang boleh kita menafsirkan nilai anggaran NPK yang didapati bagi Contoh 5.5 ia lah 1.0101. Ini bermakna keupayaan pembuatan gegelang piston tidaklah begitu baik, ia nya hanya sekadar berupaya sahaja. Keputusan ini selari dengan keputusan yang didapati apabila mencari bilangan gegelang piston yang dihasilkan dan tidak mematuhi keperluan pelanggan. Bilangannya tidak lah begitu kecil seperti yang diharapkan dan tidaklah begitu besar sehingga menjejaskan keperluan pelanggan.

Bagi data gegelang piston ini, kita telah tunjukkan cara untuk mencari kebarangkalian pecahan gegelang piston yang dihasilkan tidak mematuhi spesifikasi. Rujuk Contoh 2.9, Halaman 34.

$$\hat{p} = P(x < 73.97) + P(x > 74.03) = \mathbf{0.00216}$$

menunjukkan ≈ 2600 bahagian per juta tidak mematuhi spesifikasi.

Ingat Nisbah Keupayaan Proses mengukur keupayaan sesuatu proses yang mengilangkan produk bagi mematuhi spesifikasi yang ditetapkan. Contoh tadi menunjukkan nisbah proses keupayaan apabila kedua-dua spesifikasi ditetapkan nilainya. Katakan hanya satu had spesifikasi diberi sama ada had bawah atau had atas, maka nisbah atas atau bawah diperlukan diberi oleh;

$$NPK_A = \frac{HSA - \mu}{3\sigma}$$

$$NPK_B = \frac{\mu - HSB}{3\sigma}, \quad \mu \text{ dan } \sigma \text{ boleh}$$

dianggarkan seperti yang telah dibincangkan sebelum ini ia-itu semasa hendak menganggarkan NPK .

Seperti NPK, nilai NPK_A dan $NPK_B > 1$ adalah yang diinginkan.

Beberapa nilai NPK minimum yang disarankan untuk kegunaan industri ada lah seperti berikut:

Spesifikasi Spesifikasi

	2 Hujung	1 hujung
Proses yang Sedia Ada	1.33	1.25
Proses Baru	1.50	1.45
Keselamatan , kekuatan atau parameter kritikal (Proses yang Sedia Ada)	1.50	1.45
Keselamatan, kekuatan atau parameter kritikal (Proses Baru)	1.67	1.60

Kebanyakan syarikat lebih menggemari $C_p \geq 1.33$ untuk memastikan kadar tak mematuhi sangat rendah ≈ 0.007 percent. Ada beberapa syarikat yang menetapkan penggunaan nilai NPK bersamaan 2.0 untuk memastikan keupayaan produk keluarannya benar benar mematuhi spesifikasi yang ditetapkan dan kualitinya boleh di percayai. Contoh bagi kategori proses yang berkaitan dengan keselamatan ia lah proses pembuatan botol minuman dan ciri kualiti yang menarik perhatian pengeluar ia lah kekuatan ledakan botol. Kekurangan kekuatan tenaga mungkin membahayakan pengguna. Oleh yang demikian, untuk menjamin keselamatan pengguna

dan bagi mematuhi spesifikasi yang ditetapkan ,
disarankan penggunaan nilai NPK yang tinggi.

Contoh 5.7

Relatif kelembapan di rumah hijau dijangkakan
antara 65% dan 85%. Satu sampel rawak yang
diambil sepanjang 1 minggu menghasilkan relatif
kelembapan seperti berikut(dalam peratus); 60,
78, 70, 84, 81, 80, 85, 60, 88, 75. Kira dan
tafsirkan nisbah keupayaan proses.

Penyelesaian

HSB = 65 HSA = 85 Anggap
proses terkawal

anggarkan min dan sisihan proses dengan; $\bar{x} =$
76.1, $S = 9.905$

$$\hat{NPK}_B = \frac{\bar{x} - HSB}{3\sigma} = \frac{85 - 65}{(6)(9.905)} = 0.337$$

Ini menunjukkan bahawa proses tidak berupaya
untuk mematuhi spesifikasi yang ditetapkan.
Tindakan perlu dilakukan untuk menurunkan
variabiliti proses supaya nilai anggaran NPK
menjadi lebih besar.

Katakan, bagi contoh ini hanya memerlukan had
spesifikasi bawah; HSB = 65.

$$\hat{NPK}_B = \frac{\bar{x} - HSB}{3\sigma} = \frac{76.1 - 65}{(3)(9.905)} = 0.374$$

Keputusan ini juga menunjukkan bahawa proses tidak berupaya mematuhi spesifikasi yang ditetapkan. Bagi meningkatkan nilai NPK ini ada dua tindakan yang boleh di lakukan. Pertama ia lah dengan mengurangkan nilai sisihan piawai proses. Sekiranya, variabiliti tidak boleh di kurangkan, pilihan lain ia lah untuk meningkatkan nilai min proses jauh lebih besar daripada HSB

Rujuk kepada Contoh di atas. Katakan sisihan piawai proses tidak boleh dikurangkan dan kita hendak meningkatkan \hat{NPK}_B dari 0.374 kepada 1, maka nilai proses min sasaran sepatutnya di tingkatkan kepada:

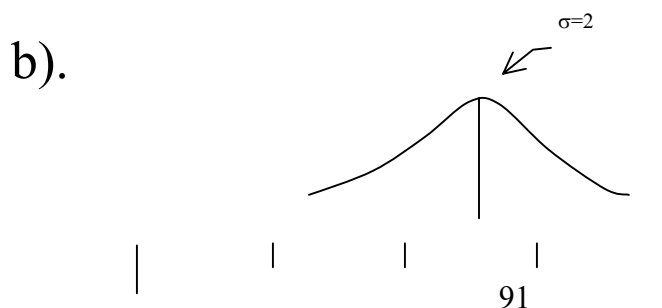
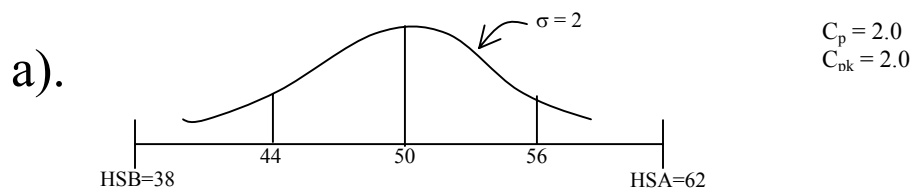
$$\mu = \text{HSB} + 3S_{\hat{NPK}_B} = 65 + (3)(9.905)(1) = 94.715\%.$$

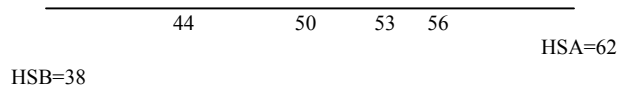
Apabila proses tidak mematuhi spesifikasi, tindakan perlu dilakukan untuk membetulkan keadaan, seperti cuba untuk memusatkan purata proses kepada nilai sebenar atau menurunkan variabiliti proses dengan cara membeli alat baru atau dapatkan bahan mentah yang berkualiti.

5.5.1 Nisbah Keupayaan Proses Bagi Proses Di Luar Pusat.

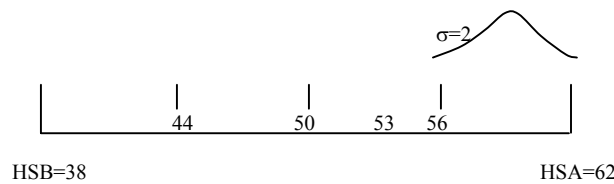
Daripada perbincangan berkaitan NPK, jika di amati dengan teliti, kita dapat perhatikan bahawa ukuran NPK tidak mengambil kira min proses atau tidak memasukkan lokasi proses apabila menghitung keupayaan sesuatu proses. Perlu ditegaskan disini bahawa NPK hanya mengukur serakan spesifikasi relatif kepada serakan proses 6σ . Amatlah penting ditegaskan bahawa variabiliti proses bukanlah parameter tunggal yang mempengaruhi keupayaan sesuatu proses yang dapat menghasilkan produk yang mematuhi keperluan. Lokasi min proses juga mempengaruhi keupayaan sesuatu proses itu, lebih-lebih lagi apabila proses min itu di luar pusat atau dengan kata lain ianya tidak pada nilai nominal. Nilai nominal ialah titik tengah antara HSB dan HSA.

Perhatikan;





c).



Daripada contoh-contoh di atas, dapat diperhatikan kesemua proses bertaburan normal, mempunyai nisbah proses keupayaan NPK atau C_p yang sama, iaitu = 2 tetapi b) $C_{pk} = 1.5$ dan c) $C_{pk} = 0$ mempunyai keupayaan yang rendah jika dibandingkan dengan a) hanya kerana proses tidak beroperasi pada titik tengah antara had spesifikasi bawah dan atas atau dengan kata lain proses beroperasi di luar pusat. Olehkerana pengiraan NPK tidak bergantung kepada μ , maka keupayaan proses tetap sama bagi proses di dalam dan diluar pusat dan keputusan ini mengelirukan pengguna. Untuk mengatasi masalah ini ukuran NPK yang sedia ada perlu diubahsuai dengan mengambil kira nilai μ dan keupayaan sebenar proses dapat diukur dan ukuran ini dirujuk sebagai index proses keupayaan sebenar, ditanda dengan

$$\begin{aligned} \text{NPK}_k \text{ atau } C_{pk} &= \min [\text{NPK}_A, \text{NPK}_B] \\ &= \min \left[\frac{HSA - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - HSB}{3\sigma} \right] \end{aligned}$$

Secara amnya i) Sekiranya nilai $C_p = C_{pk}$, proses adalah di dalam pusat ii) apabila $C_{pk} < C_p$, proses adalah di luar berpusat.

Nilai C_{pk} yang diinginkan adalah yang lebih besar atau sama dengan 1.00, ia-itu

$C_{pk} \geq 1$. Kita biasanya mengatakan C_p mengukur keupayaan potensi manakala C_{pk} mengukur keupayaan sebenar.

Contoh 5.8

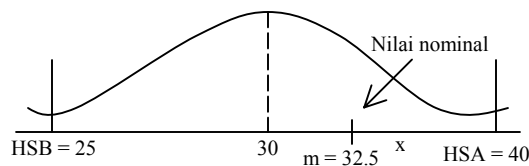
Di dalam pembuatan litar elektrik, kapasitans keupayaan menyimpan caj elektrik suatu komponen dikehendaki antara 25 dan 40 unit. Satu sampel 25 komponen dipilih menghasilkan min 30 dan sisihan piawai 3. Kirakan index proses keupayaan C_{pk} dan buat kesimpulan tentang prestasi proses. Sekiranya proses tak berupaya, dengan andaian taburan ciri kualiti adalah normal, dapatkan kadar produk yang tak mematuhi spesifikasi yang ditetapkan.

$$\begin{aligned}
C_{pk} &= \min \left\{ \frac{HSA - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - HSB}{3\sigma} \right\} = \min \\
&\left\{ \frac{HSA - \bar{x}}{3S}, \frac{\bar{x} - HSB}{3S} \right\} \\
&= \min \left\{ \frac{40 - 30}{(3)(3)}, \frac{30 - 25}{(3)(3)} \right\} = \min \{1.111, \\
&0.555\} = \mathbf{0.555}
\end{aligned}$$

Nilai $C_{pk} < 1$, ini bermakna proses tidak berupaya untuk mengeluarkan produk yang mematuhi keperluan pada keadaan semasa .

Tindakan pembetulan diperlukan untuk mengalihkan min proses ke arah nilai nominal 32.5 atau jika boleh dilaksanakan untuk mengurangkan variabiliti proses.

Rajah di bawah menunjukkan taburan ciri kualiti relatif kepada had spesifikasi.



\hat{p} = kadar yang dihasilkan tidak mematuhi spesifikasi yang ditetapkan.

$$\begin{aligned}
&= P(x < HSB) \text{ atau } P(x > HSA) \\
&= P(x < 25) + P(x > 40)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= P\left(Z < \frac{25-30}{3}\right) + P\left(Z > \frac{40-30}{3}\right) \\
&= P(Z < 1.67) + P(Z > 3.33) \\
&= 0.0475 + (1 - 0.9996) = \mathbf{0.0479}
\end{aligned}$$

Keputusan ini menunjukkan bahawa 4.79% produk yang dihasilkan tidak mematuhi spesifikasi yang ditetapkan

Prestasi proses boleh ditingkatkan jika min proses dialihkan kepada nilai nominal 32.5 . Dengan nilai min yang baru ini, kirakan semula nilai p seperti berikut;

$$\begin{aligned}
\hat{p} &= P(X < HSB) + P(X > HSA) \\
&= P\left(Z < \frac{25-32.5}{3}\right) + P\left(Z > \frac{40-32.5}{3}\right) \\
&= P(Z < -2.5) + P(Z > 2.5) \\
&= 0.0062 + (1 - 0.9938) = 0.0062 + \\
&(0.0062) = \mathbf{0.0124}
\end{aligned}$$

dengan itu kadar produk yang tidak mematuhi keperluan pelanggan telah menurun daripada 4.79% kepada 1.24%.

Perhatian

Perlu diingatkan di sini bahawa penafsiran Proses Keupayaan dan Nisbah Proses Keupayaan berdasarkan kepada andaian bahawa proses adalah bertaburan normal. Sekiranya proses tidak

bertaburan normal, segala pentakbiran adalah tidak sah.

Contoh 5.9

Katakan suatu kajian di buat ke atas 80 ukuran dengan HSA = 32 unit. $\bar{x} = 10.44$ dan $S = 3.053$

$$\begin{aligned} \text{NPK}_A &= \frac{32 - 10.44}{3(3.053)} = 2.35 \quad \text{dan} \quad \hat{p} = P(x < \text{HSA}) \\ &= P\left(Z < \frac{32 - 10.44}{3.053}\right) \end{aligned}$$

$$= P(Z <$$

7.06) ≈ 0 .

Keputusan ini menunjukkan hampir kesemua produk yang dihasilkan mematuhi spesifikasi yang ditetapkan. Walaubagaimana pun, daripada histogram yang di bina menunjukkan bahawa data tidak bertaburan normal. Ini menunjukkan, keputusan yang menyatakan tiada produk yang tidak mematuhi spesifikasi sebenarnya tidak boleh dipercayai.

Untuk mengatasi masalah data tidak bertaburan normal ialah dengan menjelmakan data supaya menjadi normal. Ada beberapa kaedah jelmaan atau transformasi yang boleh digunakan seperti, penggunaan jelmaan salingan. Pada kebiasaannya apabila data asal di jelmakan kepada salingan, histogram yang dibina akan menunjukkan ciri taburan normal ; iaitu $x^* = 1/x$. $\bar{x}^* = 0.1025$ dan $S^* = 0.0244$. HSA = $1/32 = 0.03120$. Maka

$NPK_A = 0.97$. Keputusan yang didapati daripada penggunaan jelmaan salingan menunjukkan ≈ 1700 bahagian per juta di luar spesifikasi, yang mana sebelum ini hampir tiada di luar spesifikasi.

$$P(X < HSA) = P\left(Z < \frac{0.03125 - 0.1025}{0.0244}\right) = P(Z < -2.92) = 0.0017$$

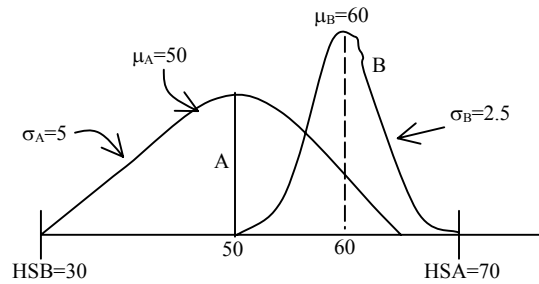
Anggaran prestasi proses lebih dipercayai kerana proses adalah bertaburan ‘normal’.

5.5.2 Nisbah Keupayaan Proses yang lebih Baik Bagi Proses di Luar Pusat.

Kita telah memperkenalkan NPK_k atau index C_{pk} sebenar yang dapat mengukur keupayaan sesuatu proses yang menghasilkan produk bagi mematuhi spesifikasi yang ditetapkan apabila min proses di luar pusat. Walaubagaimanapun PCR_k masih tidak mengukur proses dengan memuaskan. Kita tunjukkan kelemahan PCR_k ini dengan mempertimbangkan satu contoh;

Contoh 5.10;

Pertimbangan 2 proses, ia-itu proses A dan proses B seperti yang ditunjukkan di bawah;



Daripada maklumat yang diberikan kita dapat mengirakan nilai prestasi keupayaan sebenar bagi kedua-dua proses, ia-itu , $NPK_{KA} = NPK_{KB} = 1.33$. Walaupun keupayaan kedua-dua proses sama tetapi kita tahu daripada maklumat yang diberi bahawa pemusatannya jelas berbeza. Daripada perbincangan lepas pada Unit 5.5.1, diketahui bahawa $NPK_{KA} = NPK_A = 1.33$ menunjukkan proses berpusat sementara $NPK_{KB} = 1.33 < NPK_B = 2.67$ menunjukkan proses di luar pusat. Apabila di amati Rumus NPK_k dengan teliti, kita boleh katakana bahawa bagi sebarang nilai tetap μ di dalam selang daripada HSB kepada HSA, NPK_k bergantung secara songsang dengan σ dan menjadi besar apabila σ menghampiri 0. Sifat ini menjadikan PCR_k tidak sesuai sebagai ukuran pemusatan. Ini bermakna nilai PCR_k yang besar tidak sebenarnya memberitahu kita maklumat mengenai lokasi min yang berada dalam selang antara HSB dan HSA. Ini menjadikan penafsiran yang dibuat daripada NPK_k kadangkala mengelirukan apabila proses di luar pusat. Nilai NPK yang tinggi tidak semestinya yang diinginkan jika proses diluar pusat. Sebagai alternatif disarankan

menggunakan nisbah proses keupayaan alternatif yang memberi petunjuk lebih baik tentang pemusatan diberi oleh;

$$\text{NPK}_{\text{KM}} = \frac{HSA - HSB}{6\tau}$$

(5.1)

di mana

$$\begin{aligned} \tau^2 &= E[(x - T)^2] \\ &= E[(x - \mu) + (\mu - T)]^2 \\ &= E(x - \mu)^2 + 2E(x - \mu)E(\mu - T) + E(\mu - T)^2 \\ &= \sigma^2 + (\mu - T)^2. \\ &= E[(x - \mu)^2] + (\mu - T)^2 \\ &= \sigma^2 + (\mu - T)^2. \end{aligned}$$

$$T = \frac{(HSA + HSB)}{2}$$

Maka (5.1) boleh dituliskan semula seperti di bawah;

$$\text{NPK}_{\text{KM}} = \frac{HSA - HSB}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{NPK}{\sqrt{1 + \xi^2}}, \quad \xi$$

$$= \frac{T - \mu}{\sigma}$$

$$\hat{NPK}_{\text{KM}} = \frac{\hat{NPK}}{\sqrt{1 + v^2}}; \quad v = \frac{T - \bar{x}}{S},$$

$$\tau^2 = \sigma^2 \left[1 + \frac{(\mu - T)^2}{\sigma^2} \right]$$

NPK_K dan $NPK_{KM} = NPK$ apabila $\mu = T$ dan menyusut apabila μ beralih jauh dari T .

Contoh 5.11

Rujuk data Proses A dan B pada Contoh 5.10

Proses A

$$NPK_{KM} = \frac{NPK}{\sqrt{1+\xi^2}} ; NPK = \frac{HSA - HSB}{6\sigma} =$$

$$\frac{70-30}{(6)(5)} = \mathbf{1.33}$$

$$\xi = \frac{T - \mu}{\sigma}, T = \frac{(HSA + HSB)}{2} =$$

$$\frac{70+30}{2} = \mathbf{50}$$

$$= \frac{50-50}{5} = \mathbf{0} ; \text{ maka } NPK_{KM}$$

$$= \frac{1.33}{\sqrt{1+0}} = \mathbf{1.33}$$

Proses B

$$NPK = \frac{70-30}{(6)(2.5)} = 2.67 ; NPK_K =$$

$$\min \left\{ \frac{70-60}{(3)(2.5)}, \frac{60-30}{3(2.5)} \right\}$$

$$= \min \{1.33, 4\}$$

$$= \mathbf{1.33}$$

$$\xi = \frac{50-60}{2.5} = -4 ; NPK_{KM} =$$

$$\frac{2.67}{\sqrt{1+(-4)^2}} = \frac{2.67}{4.12} = \mathbf{0.65}$$

Bagi proses B, nilai NPK dan NPK_{km} yang tinggi tidak sebenarnya mempunyai keupayaan yang baik kerana kedua-dua ukuran ini mudah dipengaruhi oleh lokasi min. Semakin jauh proses min beroleh dari nilai nominal semakin kecil lah nilai dan keupayaan NPK_{km}.

5.6 : Selang Keyakinan Bagi Nisbah Keupayaan Proses

Sehingga kini kita telah menggunakan penganggar titik, $N\hat{P}K$ bagi menganggarkan parameter NPK. Sebenarnya penganggar titik tidak berapa baik kerana ia tidak mengambil kira ralat yang dilakukan. Sebagai alternatif, kita beroleh kepada penggunaan penganggar selang kerana ia memberikan darjah keyakinan bahawa parameter sebenar berada antara selang yang dibina dengan keyakinan $(1 - \alpha)100\%$. **$(1-\alpha)100\%$ Selang Keyakinan bagi NPK diberi oleh;**

$$\frac{HSA - HSB}{6S} \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2}{n-1}} \leq \text{NPK} \leq \frac{HSA - HSB}{6S} \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2, n-1}^2}{n-1}}$$

$$N\hat{P}K \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2}{n-1}} \leq \text{NPK} \leq N\hat{P}K \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2, n-1}^2}{n-1}}$$

Contoh 5.12

Katakan Had Spesifikasi bawah dan Atas bagi suatu proses diberi oleh HSA = 62 dan HSB = 38, $n = 20$. Diketahui min proses hampir memusat pada titik tengah selang spesifikasi dan sisihan piawai proses $S = 1.75$. Dapatkan 95% Selang Keyakinan bagi NPK.

$$\frac{62-38}{(6)(1.75)} \sqrt{\frac{8.907}{19}} \leq \text{NPK} \leq \frac{62-38}{(6)(1.75)} \sqrt{\frac{32.852}{19}}$$

$$1.57 \leq \text{NPK} \leq 3.01$$

Selang keyakinan ini agak lebar. Ini disebabkan penggunaan sampel yang kecil.

(1- α)100% Selang Keyakinan bagi NPK_K diberi oleh;

$$\begin{aligned} \text{HB (Had Bawah)} &= \\ \text{N}\hat{\text{P}}\text{K}_K &\left[1 - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n \text{N}\hat{\text{P}}\text{K}_K^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \\ \text{HA (Had Atas)} &= \\ \text{N}\hat{\text{P}}\text{K}_K &\left[1 + Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n \text{N}\hat{\text{P}}\text{K}_K^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \end{aligned}$$

Contoh 5.13

Katakan suatu proses dengan $n = 20$ menghasilkan $\text{N}\hat{\text{P}}\text{K}_K = 1.33$. Anggarkan 95% Selang Keyakinan bagi NPK_K

$$\begin{aligned}
\text{HB} &= 1.33 \left[1 - (1.96) \sqrt{\frac{1}{9(20)(1.33)^2} + \frac{1}{2(19)}} \right] \\
&= 0.99 \\
\text{HA} &= 1.33 \left[1 + 1.96 \sqrt{\frac{1}{(9)(20)(1.33)^2} + \frac{1}{2(19)}} \right] \\
&= 1.67
\end{aligned}$$

Selang ini agak besar, dengan nilai NPK_K boleh jadi kurang daripada satu (keadaan sangat buruk) atau ia boleh jadi sebesar 1.67 (keadaan yang sangat baik). Kita tidak dapat maklumat yang begitu tepat tentang keupayaan proses tersebut hanya disebabkan penggunaan sampel yang kecil.